

新しい光源色評価方法の開発（第1報）

和田 雅行, 古本 浩章

Development of new method for evaluation of Light-source Colors I

WADA Masayuki and FURUMOTO Hiroaki

従来の光源色の評価方法は、相関色温度と色偏差で表現するのみであり、物体色における色差に相当する2つの光源を視覚的に比較する指標が定義されていない。そこで、照明の光源色について物体色の色差に相当する視覚上差異の定量評価方法の確立を目的とし、本研究では市販されている電球型白色LEDを使用して色差及び輝度差の弁別閾について検証を行った。結果、色差の弁別閾はマクアダム楕円の3step範囲相当に近い $duv = 0.004$ 、輝度差の弁別閾が約±4%と推定できた。なお輝度差と色差の相互関係は確認できなかった。

キーワード：光源色，物体色，色空間，マクアダム楕円，輝度差弁別閾

1. 緒言

異なる色の差異を定量的に評価する方法として、物体色では、色差という指標が使用されている。色差は色空間でのユークリッド距離で定義され、CIEによってCIEDE76やCIEDE00といった計算式が定義されている¹⁾。

しかし、自らが発光する光源色においては色度や相関色温度など色そのものについての評価方法は定義されているが、物体色の色差のように色を比較する指標は定義されていない。

また、JIS Z 9112で定められている照明光における光源色の区分は、相関色温度が2600K～7100Kの間で5区分と範囲が広く、同じ区分にある光源でも光源色は異なって見えることがあり、実際に県内企業においても同製品内で「色の見え方が違う」というクレームが入った事例がある。

光源色において、物体色における色差のような「見え方の差異」を定量的に評価する指標がない理由として、光源色では物体色の白色と異なり輝度の最大値がなく、基準となる輝度が設定できないことと、輝度値によって色差の弁別閾に変化があるためと考えられる。

本研究では、照明の光源色の評価方法として、光強度を加味した光源の見え方の違いを定量評価可能な新評価法の開発を目的とし、まずは色差と輝度差の弁別閾及び相互関係の有無について検証を行った。

2. 実験方法

弁別閾および光源色の認識における色と輝度の相互関係の確認を行う手法として、恒常法を使用した。暗室にてサンプル光源2つを左右に並べ、光源から3mの位置にて被験者1名が光源を見比べて色の差異や明るさの高低を「可」、「不可」のなど2極としてどちらかを選択する。認識結果と分光放射輝度計での測定値と照らし合わせて弁別

閾を算出した。

光源の大きさや形状による差異認識への影響を軽減するため、実験に使用したサンプルは40W型の昼白色LED電球を4社5種と、調光式LED電球を3社3種、選定した。光源はカバーが乳白色のものを選定し、頂点が水平方向を向くように配置を行った。

計測にはトプコンテクノハウス製の分光放射輝度計「SR-LEDW」を使用し、測定条件として測定角1度、測定距離3mにて計測を行った。またLED電球は出力安定のため、別室にて1時間以上のエージングを行った。

3. 色差弁別閾の推定

3.1 同型の電球型LED照明での色差弁別閾の調査

まずは、同製品間でどの程度の色差が生じているのか実測を行った。計測結果を表1に示す。また、色度結果をuv色度図上にプロットしたものを図1に示す。また図1の示したラインは各サンプル群の平均値から色差 duv が0.0025となる範囲である。この範囲はLEDチップメーカーがLEDチップの色度の品質管理に用いられている、マクアダム楕円の標準偏差の約3倍の範囲(MacAdm3steps)である。図1からほぼ同じ昼白色であっても製品ごとに色度は異なっていることが解る。また、同製品群においてサンプルA、サンプルDは比較的1群にまとまっているが、サンプルCは2群、サンプルB、Eは3群に大別されている。この原因としてはLEDチップのロット違いが原因であると推測される。

次に、同製品群における色差弁別閾の検討を行った。左右に並べたLED照明を見比べて、色差が認識できるか視認による評価を行った。色差が最大となる組み合わせから順に視認性評価を行い、色差が確認できなくなるまで繰り返した。表2に色差の視認性評価を行った組み合わせと測定結果を示す。図2は各サンプルを色度図上に示しており、色差を認識できた組み合わせは実線で結んでいる。

技術ノート

表 1 電球型 LED サンプルの測定結果

サンプル A N=20			
	輝度[cd/m ²]	u	v
平均	20,606	0.2132	0.3239
偏差	181	0.0004	0.0004
サンプル B N=7			
	輝度[cd/m ²]	u	v
平均	22,210	0.2161	0.3271
偏差	437	0.0005	0.0010
サンプル C N=8			
	輝度[cd/m ²]	u	v
平均	16,555	0.2182	0.3255
偏差	310	0.0006	0.0012
サンプル D N=8			
	輝度[cd/m ²]	u	v
平均	12,326	0.2111	0.3261
偏差	260	0.0003	0.0002
サンプル E N=8			
	輝度[cd/m ²]	u	v
平均	34,543	0.2156	0.3253
偏差	1,009	0.0015	0.0009

組み合わせのうち、(E-1, E-2), (E-2, E-3), (E-2, E-5)では、色の差異を認識することができた。特に輝度差が小さい(E-2, E-3), (E-2, E-5)での結果から、色差弁別閾が $duv=0.004\sim0.005$ 程度であることが推定される。

3.2 同輝度での色差弁別閾の確認

同種サンプル間では、1種類のサンプルのみでしか視認による差異を確認できなかったため、輝度を調節できる調光式 LED サンプルを3種類(L-a, L-b, L-c)追加し、前記した5種のサンプルと輝度値を±1%以内に合わせて視認性の評価を再度行った。

表3に色差弁別閾確認実験を行った組み合わせの測定結果及びサンプル間の色差を示す。また図3に各サンプルを色度図上にプロットしたものを示す。図中に示す実線は色の認識が確認できた組み合わせを示す。

図3より、(L-a, L-b)の組み合わせでは差異を認識できなかったが、色差がほぼ同じである(E-2, E-5)では確認ができていたことから、やはりマクアダム楕円3step範囲と同程度の $duv=0.004$ 程度が光源色の色差弁別閾になることが推定できる。

表 2 同型電球型 LED サンプルでの色差弁別閾判別結果

組み合わせ	輝度差[%]	duv	判定
(A-6,A-19)	0.1%	0.0020	×
(B-1,B-4)	6.1%	0.0029	×
(C-3,C-4)	0.6%	0.0033	×
(D-3,D-7)	5.5%	0.0009	×
(E-1,E-2)	4.9%	0.0036	○
(E-2,E-3)	0.8%	0.0048	○
(E-2,E-5)	0.1%	0.0038	○
(E-2,E-7)	6.2%	0.0031	×
(E-3,E-7)	5.4%	0.0019	×

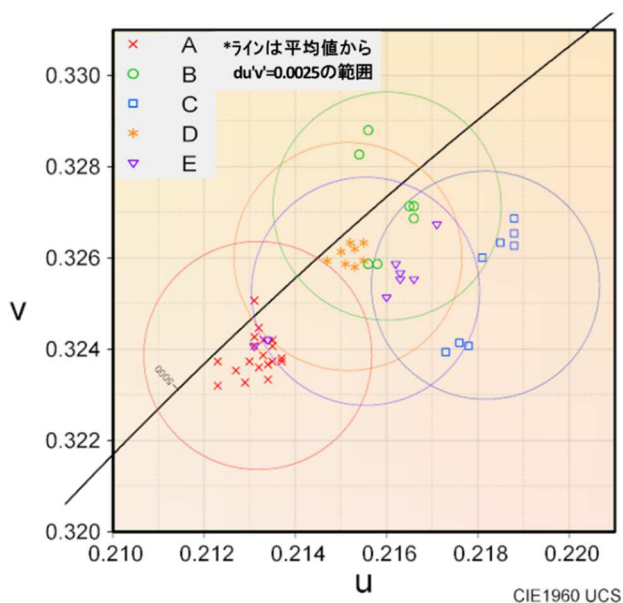


図 1 電球型 LED サンプル測定結果

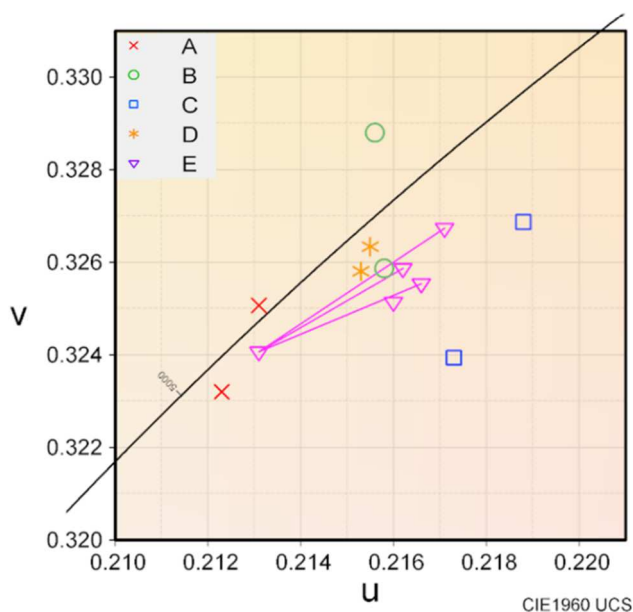


図 2 同型電球型 LED サンプルでの色差弁別閾判別結果

表3 同輝度サンプル間での色差弁別閾判別結果

組み合わせ		duv	du	dv	判定
L-a	C-8	0.0034	0.0028	0.0020	×
	E-3	0.0039	0.0021	0.0033	○
	L-b	0.0042	0.0038	0.0019	×
L-b	L-c	0.0047	0.0047	0.0000	○
	A-1	0.0066	0.0060	0.0028	○
	E-2	0.0058	0.0057	0.0013	○
L-c	B-1	0.0018	0.0018	0.0001	×
	E-3	0.0033	0.0030	0.0014	×
	E-1	0.0036	0.0031	0.0018	○
E-2	E-3	0.0048	0.0040	0.0027	○
	E-5	0.0038	0.0035	0.0015	○

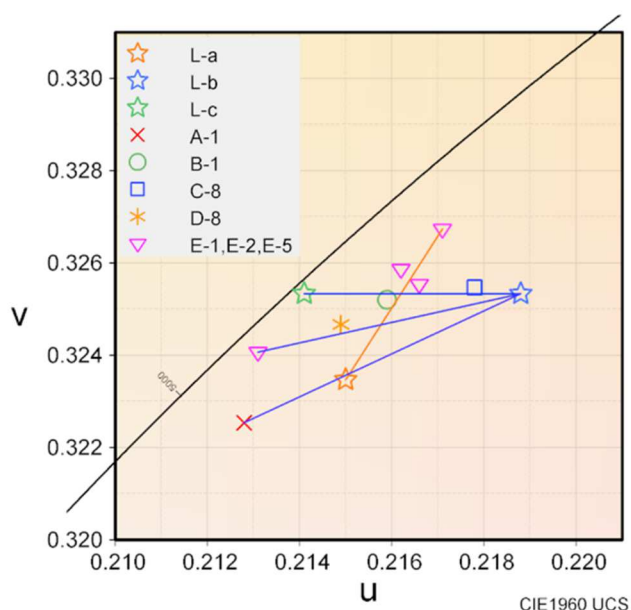


図3 同輝度サンプル間での色差弁別閾判別結果

4. 輝度差弁別閾の検討

4.1 輝度差弁別閾の確認

輝度差の弁別閾を調査するために、調光式 LED と白色 LED を使用した輝度調光実験を行った。調光式 LED と近い色度を持つ白色 LED サンプルを基準光源として選定し、調光式 LED の輝度を変化させた後、2つの光源を視認比較して基準光源よりも「明るい」「暗い」を選択した。その後、輝度を測定し認識と計測の正誤を確認した。

実験結果を表4に示す。表内の輝度認識は認識と測定結果が一致していた場合は「○」、異なっていた場合は「×」としている。図4は横軸を測定結果と認識の齟齬とし、縦軸には基準輝度との差分比率としている。表4の測定と認識の齟齬が生じた場合において、外れ値と考える20%を除くと、平均値はほぼ0%、偏差は6.4%となった。輝度

表4 LED照明 輝度差弁別閾実験結果

基準器	基準器輝度値 [cd/m ²]	試験器	差分輝度比率	輝度認識	du'v'
B-4	30,037	L-a	50.3%	○	0.0017
			20.0%	×	0.0017
			-5.7%	○	0.0018
			19.0%	○	0.0016
			-5.6%	○	0.0018
			-2.4%	×	0.0018
			5.3%	×	0.0017
			14.0%	○	0.0017
			-4.0%	×	0.0011
			134.1%	○	0.0008
C-8	25,061	L-b	5.3%	×	0.0002
			-26.8%	○	0.0008
			-13.2%	×	0.0006
			62.0%	○	0.0005
			0.8%	×	0.0001
			-7.9%	×	0.0004
			-8.7%	×	0.0004
			0.8%	×	0.0001
			6.9%	×	0.0024
			1.2%	×	0.0031

差弁別閾は正誤率が50%を超える値とすると、今回の実験での輝度差弁別閾は約±4.3%程度と推定される。公知では、輝度領域が1cd/m²~1000cd/m²における輝度差弁別閾は約±1%²⁾となっており、今回の実験とは大きく乖離した結果となった。原因としては輝度値が約30,000cd/m²と公知の領域とはかけ離れていることが考えられるが、実験で使用した調光システムが不安定であることも原因の一つと考えられる。

4.2 ディスプレイでの輝度差弁別閾の確認

電球型照明の輝度差弁別閾が公知の±1%に比べて大きく乖離してしまったため、公知と同程度の輝度領域を有し、より細かく輝度調整が可能なPCディスプレイを使用し同様の調光実験を行った。ディスプレイを2つの領域に分け、片方の明るさを変化させたときの明暗識別の実験を行った。

実験結果を図5に示す。前述の実験と同様に偏差から輝度差弁別閾を計算した結果、平均値が上方方向に振れていたが、弁別閾は公知と同様に約±1%となった。この結果から、LED電球のような高輝度領域では、公知である弁別閾とはかけ離れた値であることが示唆された。

4.3 色差と輝度差の相互関係の確認

色差と輝度差の相互関係について、光源色の色差認識が物体色と同様であるならば、弁別閾は輝度差と色差の合計で算出されるため、色差が大きい場合の輝度差弁別閾は、色差が小さい場合の輝度差弁別閾と比較して閾値が小さくなることが予想される。上記の相互関係を確認するために、2種類の調光式LEDとそれぞれに近い色度の白色LED2種類を選定し、4パターンでの輝度マッチング実験を行った。結果を図6に示す。図6から、色差弁別閾と輝度差弁別閾との間に相関係数を算出したが、予想していた負の相関関係を確認することはできず、色差と輝度差の相互関係を確認することはできなかった。

しかし、この結果は観測者が1名であることと、LED照明の大きさが製品によって異なっていることが理由と考えられる。そのため今後は誤差要因を取り除いた実験系を確立し、被験者数を増やしたうえで検証を行う。

5. 結 言

照明器具の光源色について、新評価方法を提案した。

電球型照明を用いて同輝度での色差弁別閾の検証を行ったところ、マクアダム楕円の3step範囲相当である $duv = 0.004 \sim 0.005$ が色差の弁別閾だと推定された。

また2つの電球型LEDの調光実験により輝度差弁別閾の検証を行った結果、輝度差の弁別閾が約±4%となり、今まで公知されている±1%とは乖離した結果となった。しかし輝度値が低いPCディスプレイでの実験では、弁別閾が公知の約1%となったことから、LED電球のような高輝度領域では輝度差弁別閾が1%よりも大きいことが示唆された。

色差と輝度差の相互関係の確認のため、色差の小さい組み合わせによる輝度差弁別閾と色差の大きな組み合わせによる輝度差弁別閾を比較した結果、予想と異なり色差と輝度差に相関関係は確認できなかった。そのため、現時点では、色差と輝度差をそれぞれで評価を行えば良いということになり、物体色のように明るさと色とで関係性を構築する必要はないという結果になった。

文 献

- 1) 大田登: 色彩光学 (第2版), 東京電機大学出版局, 2001, p128, p133
- 2) 大田登: 色彩光学 (第2版), 東京電機大学出版局, 2001, p124

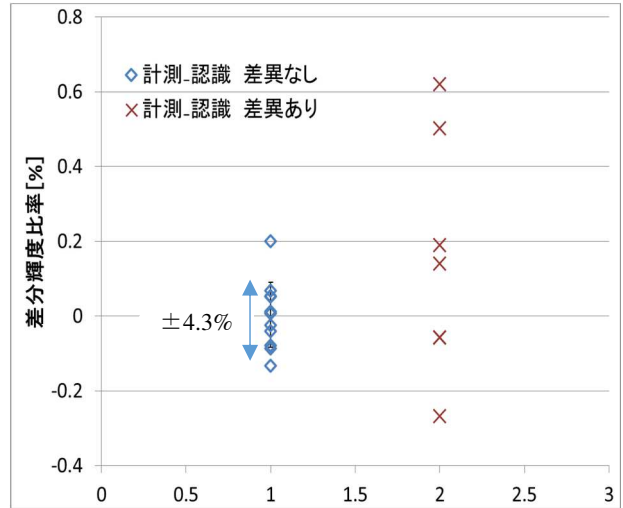


図4 LED照明での差分輝度と認識齟齬の有無

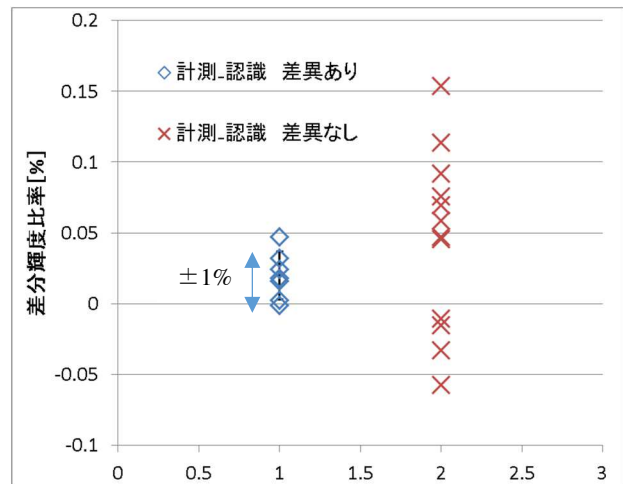


図5 ディスプレイでの差分輝度と認識齟齬の有無

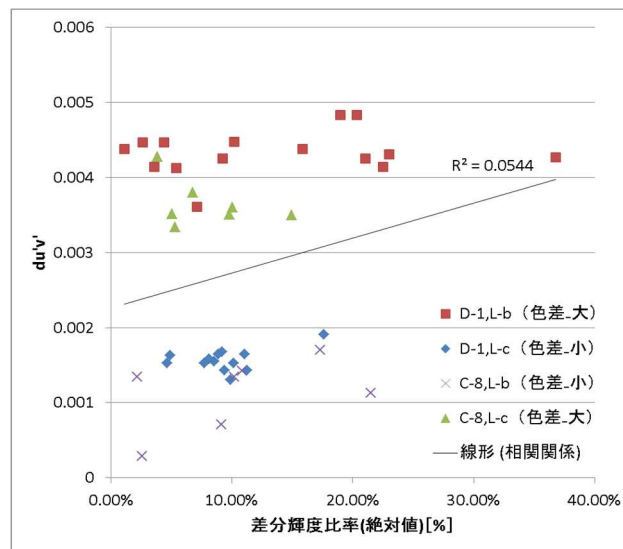


図6 輝度差-色度差 相関関係図