



測色の歴史と発展 (15)

前号より続く

木村哲也
須賀茂雄

5.7 物体色の色差の分解

全ての色差式は、直方体の斜辺の長さで与えられる。

図79に、CIE1976(L*a*b*)表色系による色差の分解図を示す。前述のアダムス・ニッカーソンの色差 ΔE_{AN} 、ハンターの色差 ΔE_H 、CIE1976 L*u*v*の色差 ΔE_{uv}^* と、5.6.1 色差式の経緯で述べたように、人の色差知覚に近似するように明度・色相・彩度に補正を掛けた色差式であるCIE94の色差 ΔE_{94} 、CMC(1:c)の色差 $\Delta E_{CMC(1:c)}$ 、CIEDE2000の色差 ΔE_{00} も同様である。

色の分解表示には、XY軸による表示方法以外に、CIE1976(L*a*b*)表色系などにおける、クロマ・色相角を極座標で表示し分解する方法がある(図80)。L*は明度を示し、C*は色味濃度を示す。試料1、2のクロマ C_{ab1}^* 、 C_{ab2}^* はそれぞれ下記の式で求められる。

$$C_{ab1}^* = (a_1^{*2} + b_1^{*2})^{1/2}$$

$$C_{ab2}^* = (a_2^{*2} + b_2^{*2})^{1/2}$$

またその各々の色味方向を示す色相角は、

$$h_{ab1} = \arctan(b_1^*/a_1^*)$$

$$h_{ab2} = \arctan(b_2^*/a_2^*)$$

従って、クロマ差 ΔC_{ab}^* 、色相角差 Δh_{ab} 、色相差 ΔH_{ab}^* は、

$$\Delta C_{ab}^* = C_{ab,2}^* - C_{ab,1}^*$$

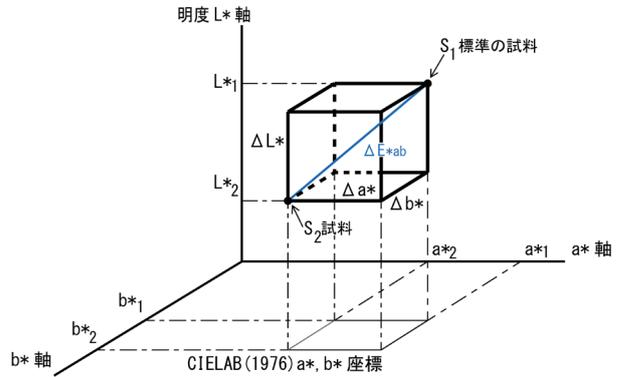


図79 ΔE*abの分解図

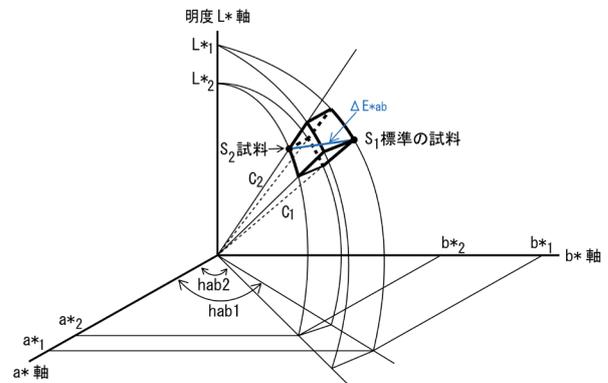


図80 ΔE*abの極座標による分解図

$$\Delta h_{ab} = h_{ab,2} - h_{ab,1}$$

$$\Delta H_{ab}^* = 2(C_{ab,2}^* \cdot C_{ab,1}^*)^{1/2} \sin(\Delta h_{ab}/2)$$

となる。

白の標準とそれにわずかに緑みと赤みを加えた各試料を作製し、測定した結果の一例を表15に示す。

表15 緑みの白、赤みの白の測定結果 (D65 10° 視野)

項目	X	Y	Z	L*	a*	b*	ΔE*ab	C*ab	hab	ΔH*ab
白(標準)	85.83	90.96	96.53	96.39	-0.76	0.72	8.62	1.05	136.56	0.68
白(緑み)	73.49	81.33	81.34	92.28	-7.40	4.33		8.58	149.66	
Δ	-12.34	-9.63	-15.19	-4.12	-6.64	3.61		7.53	13.09	
白(標準)	85.83	90.96	96.53	96.39	-0.76	0.72	5.09	1.05	136.56	-3.48
白(赤み)	81.40	84.05	90.18	93.47	3.35	0.02		3.35	0.31	
Δ	-4.44	-6.91	-6.36	-2.92	4.11	-0.70		2.30	-136.25	

また、極座標での変化図を図81に示す。明度L*を除く極座標で表すと、クロマの大小関係・色相角の極性により標準に対して試料の色がどのように変化したかがわかりやすい。

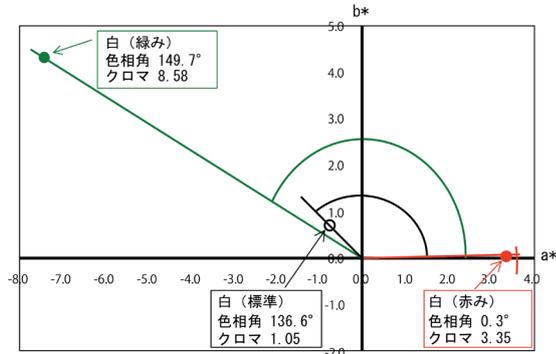


図81 変色の方向の極座標

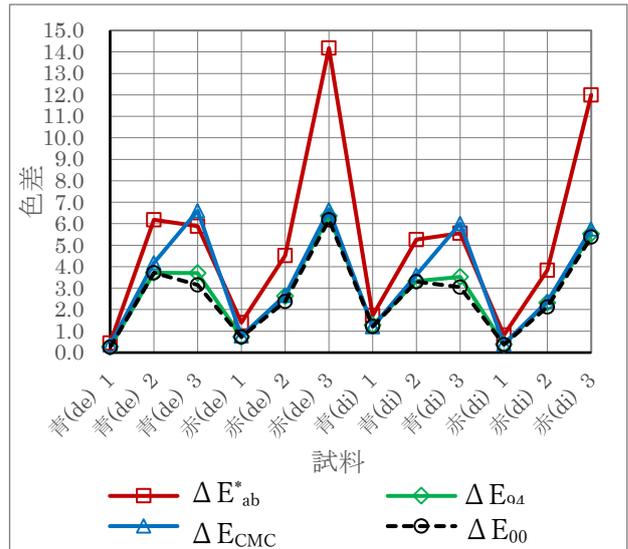


図82 色差式による色差の違い

5.8 色差式の違いによる色差

先に述べた各色差式により、例として青および赤の試料についての比較を行い、表16にまとめた。また、各色差値を比較すると図82のようになる。

この試料の場合には、 ΔE^*_{ab} が他の3つの色差式の結果と比較すると大きめに計算されていることになる。視感判定結果と比較して、どの色差式を選択する必要があると考えられる。

表16 色差式の違いによる各色差式の結果 (D65 10° 視野)

試料	X	Y	Z	ΔE^*_{ab}	ΔE^*_{uv}	ΔE_{94}	ΔE_{CMC}	ΔE_{00}
青(de) s	14.96	19.26	40.40	0.45	0.68	0.27	0.36	0.25
青(de) 1	15.08	19.41	40.31					
青(de) s	14.96	19.26	40.40					
青(de) 2	17.81	21.74	41.46	6.19	8.07	3.72	4.18	3.72
青(de) s	14.96	19.26	40.40	5.89	8.75	3.70	6.60	3.15
青(de) 3	14.18	18.83	35.46					
青(de) s	14.96	19.26	40.40					
赤(de) s	24.96	16.24	14.96	1.40	2.18	0.74	0.77	0.72
赤(de) 1	24.63	15.76	14.44					
赤(de) s	24.96	16.24	14.96					
赤(de) 2	25.11	16.33	17.10	4.52	6.54	2.63	2.66	2.38
赤(de) s	24.96	16.24	14.96	14.18	24.99	6.36	6.64	6.18
赤(de) 3	25.24	18.82	20.40					
赤(de) s	24.96	16.24	14.96					
青(di) s	17.96	22.16	43.16	1.72	2.30	1.27	1.21	1.22
青(di) 1	19.00	23.26	43.86					
青(di) s	17.96	22.16	43.16					
青(di) 2	20.77	24.63	44.24	5.27	7.20	3.34	3.61	3.30
青(di) s	17.96	22.16	43.16	5.56	8.47	3.52	6.00	3.05
青(di) 3	17.29	21.85	38.37					
赤(di) s	28.40	19.75	18.01					
赤(di) 1	28.29	19.51	17.75					
赤(di) s	28.40	19.75	18.01					
赤(di) 2	28.70	19.91	20.10	3.83	5.35	2.32	2.38	2.12
赤(di) s	28.40	19.75	18.01	12.00	21.14	5.53	5.75	5.38
赤(di) 3	28.64	22.17	23.23					
赤(di) s	28.40	19.75	18.01					



5.9 測色値の有効桁数

XYZの測定値が色差に及ぼす影響を確かめるために、XYZ値を変化させて色差を計算した。色差は、いずれの場合もX、YとZの変動の±が逆になった場合が最大になるので、0.01、0.02、0.10変化させた時の色差を表17、18、19にまとめた。

XYZの測定値が0.10変化すると、色差は人の目で判別できるような数値になる。XYZの測定値が最大0.02変わると、色差値が0.2以上となり識別可能な範

囲になるため、測定器の測定値は小数第2位で2以内に、また測定器の精度としては、小数第2位で2以内に測定可能である必要がある。

JIS Z 8781-6 : 2017³⁵⁾ 測色—第6部：CIEDE2000 色差式 の解説に、「色差式の計算過程が複雑のため、計算途中の数値はチェック用に桁数を多くとっているが、XYZ、L*a*b*、メトリック量は小数点以下2桁、色差は小数点以下1桁で丸めて記載する」との記載がある。

表17 色紙（赤・青）の測定値を変えた場合の色差（D65 10° 視野）

試料		X	Y	Z	ΔE^*_{ab}	Δ	ΔE^*_{uv}	Δ	ΔE_{94}	Δ	ΔE_{CMC}	Δ	ΔE_{00}	Δ
赤	試料1	24.96	16.24	14.96	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	試料2	24.63	15.76	14.44	1.45	-	2.25	-	0.75	-	0.79	-	0.74	-
	試料2 X-0.01 Y+0.01 Z-0.01	24.62	15.77	14.43	1.36	-0.09	2.12	-0.13	0.72	-0.03	0.76	-0.03	0.71	-0.03
	試料2 X+0.01 Y-0.01 Z+0.01	24.64	15.75	14.45	1.54	0.09	2.38	0.13	0.78	0.03	0.82	0.04	0.77	0.03
	試料2 X-0.02 Y+0.02 Z-0.02	24.61	15.78	14.42	1.27	-0.18	1.99	-0.26	0.70	-0.05	0.72	-0.06	0.69	-0.05
	試料2 X+0.02 Y-0.02 Z+0.02	24.65	15.74	14.46	1.63	0.19	2.51	0.27	0.81	0.06	0.86	0.07	0.80	0.06
	試料2 X-0.10 Y+0.10 Z-0.10	24.53	15.86	14.34	0.83	-0.62	1.18	-1.07	0.60	-0.15	0.59	-0.20	0.58	-0.16
	試料2 X+0.10 Y-0.10 Z+0.10	24.73	15.66	14.54	2.45	1.00	3.64	1.39	1.09	0.34	1.20	0.41	1.07	0.33
青	試料1	14.96	19.26	40.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	試料2	15.08	19.41	40.31	0.45	-	0.68	-	0.27	-	0.36	-	0.25	-
	試料2 X-0.01 Y+0.01 Z-0.01	15.07	19.42	40.30	0.49	0.05	0.72	0.04	0.32	0.05	0.48	0.11	0.28	0.04
	試料2 X+0.01 Y-0.01 Z+0.01	15.09	19.40	40.32	0.42	-0.02	0.66	-0.03	0.23	-0.03	0.27	-0.09	0.22	-0.02
	試料2 X-0.02 Y+0.02 Z-0.02	15.06	19.43	40.29	0.56	0.12	0.78	0.10	0.37	0.11	0.60	0.24	0.33	0.08
	試料2 X+0.02 Y-0.02 Z+0.02	15.10	19.39	40.33	0.43	-0.01	0.65	-0.03	0.22	-0.05	0.23	-0.13	0.22	-0.03
	試料2 X-0.10 Y+0.10 Z-0.10	14.98	19.51	40.21	1.36	0.91	1.49	0.81	0.92	0.65	1.65	1.29	0.80	0.55
	試料2 X+0.10 Y-0.10 Z+0.10	15.18	19.31	40.41	1.09	0.65	1.13	0.45	0.64	0.37	1.12	0.76	0.59	0.34

表18 色みをつけた白紙の色差 (D65 10° 視野)

試料		X	Y	Z	ΔE^*_{ab}	Δ	ΔE^*_{uv}	Δ	ΔE_{94}	Δ	ΔE_{CMC}	Δ	ΔE_{00}	Δ
緑みの白	試料1 (白)	85.83	90.96	96.53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	試料2 (緑みの白)	73.49	81.33	81.34	8.62	-	10.70	-	7.84	-	11.12	-	8.54	-
	試料2 X-0.01 Y+0.01 Z-0.01	73.48	81.34	81.33	8.66	0.04	10.75	0.05	7.87	0.03	11.18	0.06	8.58	0.04
	試料2 X+0.01 Y-0.01 Z+0.01	73.50	81.32	81.35	8.59	-0.04	10.65	-0.05	7.82	-0.03	11.06	-0.06	8.51	-0.04
	試料2 X-0.02 Y+0.02 Z-0.02	73.47	81.35	81.32	8.69	0.07	10.80	0.10	7.90	0.06	11.24	0.11	8.61	0.07
	試料2 X+0.02 Y-0.02 Z+0.02	73.51	81.31	81.36	8.55	-0.07	10.60	-0.10	7.79	-0.06	11.01	-0.11	8.47	-0.07
	試料2 X-0.10 Y+0.10 Z-0.10	73.39	81.43	81.24	8.98	0.35	11.20	0.50	8.13	0.28	11.70	0.58	8.90	0.36
	試料2 X+0.10 Y-0.10 Z+0.10	73.59	81.23	81.44	8.27	-0.35	10.21	-0.49	7.57	-0.28	10.55	-0.57	8.18	-0.36
赤みの白	試料1 (白)	85.83	90.96	96.53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	試料2 (赤みの白)	81.40	84.05	90.18	5.09	-	6.54	-	4.95	-	6.28	-	6.09	-
	試料2 X-0.01 Y+0.01 Z-0.01	81.39	84.06	90.17	5.06	-0.04	6.49	-0.05	4.92	-0.03	6.22	-0.05	6.04	-0.05
	試料2 X+0.01 Y-0.01 Z+0.01	81.41	84.04	90.19	5.13	0.04	6.59	0.05	4.98	0.03	6.33	0.05	6.14	0.05
	試料2 X-0.02 Y+0.02 Z-0.02	81.38	84.07	90.16	5.03	-0.07	6.45	-0.09	4.89	-0.06	6.17	-0.10	6.00	-0.09
	試料2 X+0.02 Y-0.02 Z+0.02	81.42	84.03	90.20	5.17	0.07	6.64	0.10	5.02	0.07	6.39	0.12	6.19	0.10
	試料2 X-0.10 Y+0.10 Z-0.10	81.30	84.15	90.08	4.75	-0.35	6.05	-0.49	4.63	-0.32	5.73	-0.55	5.61	-0.48
	試料2 X+0.10 Y-0.10 Z+0.10	81.50	83.95	90.28	5.45	0.36	7.04	0.50	5.27	0.32	6.83	0.55	6.57	0.48

表19 完全拡散面の色差 (D65 10° 視野)

試料	X	Y	Z	ΔE^*_{ab}	ΔE^*_{uv}	ΔE_{94}	ΔE_{00}
標準 (完全白色面)	94.81	100.00	107.33	-	-	-	-
比較 X-0.01 Y+0.01 Z-0.01	94.80	100.01	107.32	0.04	0.05	0.04	0.05
比較 X+0.01 Y-0.01 Z+0.01	94.82	99.99	107.34	0.04	0.05	0.04	0.05
比較 X-0.02 Y+0.02 Z-0.02	94.79	100.02	107.31	0.07	0.10	0.07	0.11
比較 X+0.02 Y-0.02 Z+0.02	94.83	99.98	107.35	0.07	0.10	0.07	0.11
比較 X-0.10 Y+0.10 Z-0.10	94.71	100.10	107.23	0.37	0.49	0.37	0.52
比較 X+0.10 Y-0.10 Z+0.10	94.91	99.90	107.43	0.37	0.49	0.37	0.52

注：完全拡散面の場合、a*が「0」になるため、h_{ab}が計算不能になるので、Y=100.000001として計算した。

(次号へ続く)

【参考文献】

35) JIS Z 8781-6:2017 測色－第6部：CIEDE2000 色差式