667.613 : 535.392

塗膜の鏡面反射率(第1報)

The Specular Gloss of Paint Film

豊田 三郎*・斎藤 治一*

Saburo Toyoda, Jiichi Saito

ま え が き

物体の表面の光沢の程度を表示するために種々の方法があるが、基本的には(1)正反射光量を主に考えたもの、(2)正反射光量と拡散反射光成分との両方を考えに入れたもの、(3)正反射方向附近の反射光の分布を採り上げたもの3通りに大別される。又測定器については光測定を光電池によって行うかどうか、その他、入射角・光電池回路・開口・標準のとり方等についてそれぞれ形式のちがうものがある。工業的に利用されているのは、以上のうちの(1)の方法によって得られる正反射光沢が比較的多い様である。

我々は以下の研究において GM-1 型光沢計を使用し、ラッカーエナメル塗膜(白・灰色・紺色・赤)についての鏡面反射率を測定し、つぎの4項について検討を試みた。

- (1) 入射角を 45° から 75° まで変化した場合の鏡面反射率の変化
- (2) 同一試料について測定場所のちがいによる測定値のバラツキの程度
- (3) 視感覚によるツヤの順位と計器による測定値の順位との関係
- (4) 入射角 60° における Gardner Portable 60° Gloss Meter 測定値との比較

2. 試料の調製

白・灰色・紺色・赤になるような4色の顔料の組合せを作り、それらの組合せ顔料とビヒクルとで、顔料とビヒクルとの配合比の違つたラッカーエナメルを4色について10種類ずつ調製し、 160×75 mm のブリキ板にそれぞれ2回吹付けて塗ったのち約 20°C で1週間乾かしたものを試料とした。試料番号はおのおのの色についてビヒクルの少いものから多いものに順々に、白(W1, W2, W3, ..., W10), 灰色(G1, G2, G3, ..., G10), 紺色(B1, B2, B3, ..., B10) および赤(R1, R2, R3, ..., R10) とした。

* 日本塗料検査協会 昭和32年2月1日受理

3. 測定器

測定に用いた GM-1 型光沢計は第1図に示す様に4本のアームからなり、A点は試料Sに光を送つて反射させる点で、四辺形 ABCD は平面上にあり、Cは直線 AC 上に自由に動くようにしてある。平面状の試料Sは平面 ABCD と直線 AC にそれぞれ垂直に取付けられる。このようになっているので、入射角と反射角とは常に互に等しく、しかも 45° から 75° まで自由に変えられるようになる。光源は AD 上に、受光器は AB 上に置いてある。

第1図

この装置の定格は次に示す通りである。

電 源 : AC 100 V 0.6 A

電圧変動 ± 10 V に対し : 測定値変動 1% 以下

変角精度 : $\pm 0.3^\circ$ 以内

受光器の開口 :

A) AB・AD 両光軸を含む面内
 $4.4^\circ \pm 0.1^\circ$

B) AB を軸とし面 ABAD に垂直な面内
 $11.7^\circ \pm 0.2^\circ$

光源からの光束のひろがり :

A) AB・AD 両光軸を含む面内 1° 以下

B) AD を軸とし、面 AB・AD に垂直な面内 4° 以下

受光器の開口の位置と光源像の位置との差 :

受光器用レンズ焦点距離の 5% 以下

光電池回路：

P_1, P_2 : 光電池
 G : 検流計

R, R_1 : 抵抗

4. 測定方法

試料台に試料の面を取付け抵抗 R を調節して検流計のフルを零にしたときの R の目盛を読む。あらかじめ R の目盛と反射率との間を求めて計算図表を作って置

き、それによって試料の反射率を算出した。反射率の標準としては、屈折率 1.52 の黒ガラス板を用いたの時の R の値と、Fresnell の式から算出した $45 \sim 75^\circ$ の反射率とを組合せて基礎とした。

5. 入射角と反射率との関係

入射角を $45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ と角度を変えてそれぞれ測定した値を第1表に示す。(完全な鏡面反対に対する%)

6. 測定場所による測定値のバラツキの程度

同一試料について異なつた任意の3個所をとって測定した値から平均値 ($\bar{X}$) と標準偏差 (σ) とを算出しこれを第2表に示す。

第1表 入射角を変えたときの鏡面反射率 (%)

試料番号	入 射 角			試料番号	入 射 角			試料番号	入 射 角			試料番号	入 射 角		
	45°	60°	75°		45°	60°	75°		45°	60°	75°		45°	60°	75°
W 1	6.2	6.2	29	G 1	6	6.4	31	B 1	2.5	2.5	11	R 1	5	5.6	29
W 2	6.2	6.5	30	G 2	6.5	7.2	35	B 2	2.5	2.6	17	R 2	7	7.3	38
W 3	6.2	8	35	G 3	7	9.3	86	B 3	4.5	4.5	21	R 3	7	10.3	48
W 4	8	10.6	50	G 4	9	11	50	B 4	6	9	42	R 4	8	11.1	51
W 5	8.5	13.3	55	G 5	9	12.5	54	B 5	8	10.6	48	R 5	10	14.9	70
W 6	18	32	125	G 6	11	18	80	B 6	10	16	69	R 6	12	20	88
W 7	20	38.3	144	G 7	17	27	115	B 7	12	23	94	R 7	20	33	135
W 8	26	52	170	G 8	18	31	125	B 8	17	25	104	R 8	21	42	150
W 9	36	69	210	G 9	22	44	150	B 9	30	51	160	R 8	30	59	186
W10	40.16	70	221	G10	30	57	177	B10	50	78	230	R10	41	73	252

第2表 測定個所による鏡面反射率測定値のバラツキ (%)

試料番号	入 射 角 45°					入 射 角 60°					入 射 角 75°				
	測 定 値	$\bar{X}$	σ	測 定 値	$\bar{X}$	σ	測 定 値	$\bar{X}$	σ	測 定 値	$\bar{X}$	σ	測 定 値	$\bar{X}$	σ
W 1	6.2	6.2	6.2	6.2	0		6.2	6.2	6.2	6.2	0		29	29	29
W 2	6.2	6.2	6.2	6.2	0		6.2	6.2	6.2	6.5	0		30	29	31
W 3	6.2	6.2	6.2	6.2	0		8	8	8	8	0		35	36	34
W 4	8	8	8	8	0		10.6	10.6	10.6	10.6	0		50	50	50
W 5	8.5	8.5	8.5	8.5	0		13.3	13.3	13.3	13.3	0		55	55	55
W 6	18	18	18	18	0		32	32	32	32	0		125	125	125
W 7	20	20	20	20	0		38	39	38	38.3	1.45		145	144	143
W 8	26	26	26	26	0		52	52	52	52	0		170	170	170
W 9	36	36	36	36	0		69	69	69	69	0		213	210	207
W10	40	40	40.5	40.16	0.23		70	70	70	70	0		221	221	221
G 1	6	6	6	6	0		6.4	6.4	6.4	6.4	0		31	31	31
G 2	6.5	6.5	6.5	6.5	0		7.2	7.2	7.2	7.2	0		35	35	35
G 3	7	7	7	7	0		9.3	9.3	9.3	9.3	0		40	40	40

試料 番号	入 射 角 45°					入 射 角 60°					入 射 角 75°				
	測 定 値			$\bar{X}$	σ	測 定 値			$\bar{X}$	σ	測 定 値			$\bar{X}$	σ
G 4	9	9	9	9	0	11	11	11	11	0	50	50	50	50	0
G 5	9	9	9	9	0	12.5	12.5	12.5	12.5	0	54	54	54	54	0
G 6	11	11	11	11	0	18	18	18	18	0	80	80	80	80	0
G 7	17	17	17	17	0	27	27	27	27	0	115	115	115	115	0
G 8	18	18	18	18	0	31	31	31	31	0	125	125	125	125	0
G 9	22	22	22	22	0	44	44	44	44	0	150	151	149	150	0.8
G10	30	30	30	30	0	57	57	57	57	0	177	175	179	177	1.6
B 1	2.5	2.5	2.5	2.5	0	2.5	2.5	2.5	2.5	0	11	11	11	11	0
B 2	2.5	2.5	2.5	2.5	0	2.6	2.6	2.6	2.6	0	17	17	17	17	0
B 3	4.5	4.5	4.5	4.5	0	4.5	4.5	4.5	4.5	0	21	21	21	21	0
B 4	6	6	6	6	0	9	9	9	9	0	42	42	42	42	0
B 5	8	8	8	8	0	10.6	10.6	10.6	10.6	0	48	48	48	48	0
B 6	10	10	10	10	0	16	16	16	16	0	69	68	70	69	0.8
B 7	12	12	12	12	0	23	23	23	23	0	94	94	94	94	0
B 8	17	17	17	17	0	25	25	25	25	0	104	105	103	104	0.8
B 9	30	30	30	30	0	51	51	51	51	0	162	158	162	160	1.6
B10	50	50	50	50	0	78	78	78	78	0	228	231	230	230	1.2
R 1	5	5	5	5	0	5.6	5.6	5.6	5.6	0	29	29	29	29	0
R 2	7	7	7	7	0	7.3	7.3	7.3	7.3	0	38	38	38	38	0
R 3	7	7	7	7	0	10.3	10.3	10.3	10.3	0	48	48	48	48	0
R 4	8	8	8	8	0	11.1	11.1	11.1	11.1	0	51	51	51	51	0
R 5	10	10	10	10	0	14.9	14.9	14.9	14.9	0	70	70	70	70	0
R 6	12	12	12	12	0	20	20	20	20	0	88	88	88	88	0
R 7	20	20	20	20	0	33	33	33	33	0	135	135	135	135	0
R 8	21	21	21	21	0	42	42	42	42	0	150	150	150	150	0
R 9	30	30	30	30	0	59	59	59	59	0	186	186	186	186	0
R10	41	41	41	41	0	73	73	73	73	0	252	252	252	252	0

7. Gardner Portable Gloss Meter

による測定値との比較

Gardner Portable 60° Gloss Meter で鏡面反射率

（%）を測定し、入射角60°における GM-1 型測定値

と比較した結果を第3表および第2図に示す。

第3表 60°における GM-1 と Gardner の測定値の比較

試料 番号	GM-1 60°	Gardner 60°	試料 番号	GM-1 60°	Gardner 60°	試料 番号	GM-1 60°	Gardner 60°	試料 番号	GM-1 60°	Gardner 60°
W 1	6.2	6	G 1	6.4	6	B 1	2.5	1.5	R 1	5.6	5
W 2	6.5	7	G 2	7.2	7	B 2	2.6	2	R 2	7.3	7
W 3	8	7	G 3	9.3	9	B 3	4.5	4	R 3	10.3	10
W 4	10.6	10	G 4	11	11	B 4	9	9	R 4	11.1	11
W 5	13.3	13	G 5	12.5	13	B 5	10.6	11	R 5	14.9	16
W 6	32	32	G 6	18	18	B 6	16	16	R 6	20	20
W 7	38.3	35	G 7	27	27	B 7	23	24.9	R 7	33	34
W 8	52	52	G 8	31	34	B 8	25	27	R 8	42	41
W 9	67	69	G 9	44	44	B 9	51	53	R 9	59	58
W10	70	72	G10	57	59	B10	78	76	R10	73	79

第2図 60°におけるGM-1とGardnerとの測定値の比較

8. 視感覚による光沢順位と計器による測定値の順位との関係

視感覚による光沢の順位と入射角60°におけるGM-1型光沢計の測定値の順位とを比較した結果は次の通りである。

8.1 視感覚の順位について

判定者：製品検査員4名

判定条件：(1) 北側の窓辺で測定

(2) 測定の日 昭和31年11月13日晴

(3) 最も光沢の少ないものを1とし、
光沢の多い順に 2, 3, 4, …… とし、
最も光沢の多いものを10とする。

判定結果：第4表に示す。

検定

4名の判定者(P, Q, R, S)のつけた順位が一致しているかを調べておかないと判定結果をそのまま用いて比較するのは危険である。この様なときには Kendall による一致係数を用いて検定すればよいといわれている。例へば4名の判定者のつけた順位が全く一致しているとすれば、順位の列の和は $4 \cdot 8 \cdot \dots \dots 36 \cdot 40$ になるはずである。全く一致したときの順位の和の平方和を S として順位が一致したときの和の平方和を S' とすると、

$W = S/S'$ は順位の一致の測度となる。

この W が一致係数である。

変数の数を m 、項目の数を n とすれば、

$$S' = \frac{m^2(n^3 - n)}{12}$$

$$W = S/S' = \frac{12S}{m^2(m^3 - n)} \quad \text{となる。}$$

第4表 視感覚による光沢の順位

色別	判定者	試料番号	順位									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
白(W)	P		1	2	3	4	5	6	7	8	10	9
	Q		2	1	3	4	5	6	7	8	10	9
	R		2	1	3	4	5	6	7	8	10	9
	S		1	2	3	4	5	6	7	8	10	9
	和		6	6	12	16	20	24	28	32	40	36
灰色(G)	P		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Q		2	1	4	3	5	6	7	8	9	10
	R		1	3	2	4	5	6	7	8	9	10
	S		2	1	3	4	5	6	7	8	9	10
	和		6	7	12	15	20	24	28	32	36	40
紺色(B)	P		1	3	2	4	5	6	7	8	9	10
	Q		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	R		2	1	3	4	5	6	7	8	9	10
	S		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	和		5	8	11	16	20	24	28	32	36	40
赤(R)	P		1	4	2	3	5	6	7	8	9	10
	Q		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	R		1	2	4	3	5	6	7	8	9	10
	S		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	和		4	10	12	14	20	24	28	32	36	40

$$F = \frac{(m-1)W}{1-W} \quad \text{とすると}$$

$$F \text{ は自由度 } \begin{cases} \phi_1 = n-1 - \frac{2}{m} \\ \phi_2 = (m-1)\phi_1 \end{cases}$$

の F 分布をするので、これを利用して W の検定をした。

今第4表についての判定結果を見ると光沢の多い方についての順位は一致していると考えてよいが、少ない方については各色共順位が一致していないと思われる。

第5表 白についての順位の検査

判定者	試料番号	1	2	3	4	5	計
P		1	2	3	4	5	15
Q		2	1	3	4	5	15
R		2	1	3	4	5	15
S		1	2	3	4	5	15
和		6	6	12	16	20	60

るので、試料番号1から5までの試料について一致係数による検定を行って見た。

白については

$$S = (2^2 + 6^2 + 12^2 + 16^2 + 20^2) - \frac{60^2}{5} \\ = 152$$

$$S' = \frac{4^2(5^3 - 5)}{12} = \frac{16 \times 120}{12} = 160$$

$$W = S/S' = 152/160 = 0.95$$

$$F_0 = \frac{(5-1)0.95}{1-0.95} = 76$$

$$\phi_1 = 5 - 1 - \frac{2}{4} = 3.5$$

$$\phi_2 = (5-1)\phi_1 = 4 \times 3.5 = 14$$

F表から $F_{14}^4(0.05) = 4.69$ であるから順位は一致していると考えてよい。

同様に灰色・紺色・赤についても検定した結果いずれも順位は一致していると判定された。

即ち4名の判定はまちまちではないので、その判定結果は比較に用いてもよいと考えられる。

8.2 視感覚による光沢の順位と鏡面反射率

の順位との比較

試料の光沢の順位を視感覚によつて判定した結果によつて測定した表面反射率の順位と比較して第6表に示す。

9. 結 論

1) 入射角を大きくすると正反射光成分の絶対値の増加によつて数値がとり易くなるが、半面には入射角

のわずかな差で反射率の変化が大きくなりやすい。

2) 入射角を変化しても反射率の順位に変動はない。

3) 入射角 45° では反射率の低い領域で相互の順位がつけにくい、入射角 60° を以上にすると明かに順位をつけることができる。

4) 同一試料について場所による測定値のバラツキはいずれの入射角についても極めて少ないが、あるいはほとんどなかった。

5) GM-1型と Gardner Portable 60° Gloss Meterとの測定値の間には測定値に幾分かの差があるが、差異の程度は反射率の高い方の領域において大きい。又 GM-1型は Gardner に比べて反射率の低い方ではやや高目に、反射率の高い方でやや低目に出る傾向があった。

6) 視感覚による光沢の順位は、一致係数による検定では一致して居り、光沢の多いものについては各判定数が一致した順位をつけたが、光沢の少ないものについて順位は判定者によつて多少ちがっていた。

7) 視感覚による光沢の順位と鏡面反射率の順位とは大部分は一致しているが、相互の鏡面反射率の差が約2以下の試料群については一致していない。

8) 一致していない試料群の中でも、鏡面反射率が約11以下の場合には、各判定者についての順位はまちまちであった。

以上研究について試料の調製は日本油脂株式会社川崎工場の、又視感覚の順位の判定については同社森弘二郎氏の御協力を得たのでここに深く感謝の意を表す。

第6表 視感覚による光沢の順位と鏡面反射率の順位との比較

試料 番号	視感覚による 光沢の順位				鏡 面 の 反 射 率	試料 番号	視感覚による 光沢の順位				鏡 面 の 反 射 率	試料 番号	視感覚による 光沢の順位				鏡 面 の 反 射 率	試料 番号	視感覚による 光沢の順位				鏡 面 の 反 射 率
	P	Q	R	S			P	Q	R	S			P	Q	R	S			P	Q	R	S	
W 1	1	2	2	1	1	G 1	1	2	1	2	1	B 1	1	1	2	1	1	R 1	1	1	1	1	1
W 2	2	1	1	2	2	G 2	2	1	3	1	2	B 2	3	2	1	2	2	R 2	4	2	2	2	2
W 3	3	3	3	3	3	G 3	3	4	2	3	3	B 3	2	3	3	3	3	R 3	2	3	4	3	3
W 4	4	4	4	4	4	G 4	4	3	2	3	4	B 4	4	4	4	4	4	R 4	3	4	3	4	4
W 5	5	5	5	5	5	G 5	5	5	5	5	5	B 5	5	5	5	5	5	R 5	5	5	5	5	5
W 6	6	6	6	6	6	G 6	6	6	6	6	6	B 6	6	6	6	6	6	R 6	6	6	6	6	6
W 7	7	7	7	7	7	G 7	7	7	7	7	7	B 7	7	7	7	7	7	R 7	7	7	7	7	7
W 8	8	8	8	8	8	G 8	8	8	8	8	8	B 8	8	8	8	8	8	R 8	8	8	8	8	8
W 9	10	10	10	10	9	G 9	9	9	9	9	9	B 9	9	9	9	9	9	R 9	9	9	9	9	9
W10	9	9	9	9	10	G10	10	10	10	10	10	B10	10	10	10	19	10	R10	10	10	10	10	10