

マイクロ光輝感の 官能評価と画像計測 (第2報)

Visual Evaluation and Digital Image
Analysis of “Micro-brilliance” - (Ⅱ)



SP研究所
第2研究部
平山徹
Toru
Hirayama



SP研究所
第2研究部
山長伸
Shin
Yamanaga



SP研究所
第2研究部
蒲生真一
Shinichi
Gamou

Summary

From the data obtained by an apparatus that consists of a built-in CCD camera and an image processor, four “micro brilliance” parameters, i.e., HG (High-light Graininess), HB (High-light Brilliance), HBL (High-light Brilliance at Low-illuminance) and SB (Shade Brilliance) were introduced.

Furthermore, the measuring apparatus that is useful for easily and rapidly measuring these parameters was newly developed. Usefulness and feasibility of the combined uses of “multi-color sensor” with this “micro-brilliance measurer” for Computer Color Searching (CCS) and Computer Color Matching (CCM) were studied.

As the results, more accurate color-identifications at CCS compared with the cases done only with multi-angle color sensor were observed.

要 旨

CCDカメラを用いた画像計測装置に基づいて、「粒子感」、「キラキラ感」に概ね良好な相関を示す4つのマイクロ光輝感パラメータとしてHG (High-light Graininess)、HB (High-light Brilliance)、HBL (High-light Brilliance at Low-illuminance)、SB (Shade Brilliance)を導出した。また、これらのマイクロ光輝感パラメータを迅速に、且つ高精度に測定する事のできる専用の計測装置を作成した。さらに、多角度測色計とマイクロ光輝感測定装置を併用したCCS (Computer Color Search)、CCM (Computer Color Match)の効果と可能性に関して検討した。その結果、CCSでは多角度測色計のみを用いた場合に比して「カラー」の特定における精度を飛躍的に高められる事を確認した。

1. はじめに

自動車外板塗色を主たる対象とした計測を考えた場合、その「カラー」を特定するためには、マイクロ光輝感の測定が欠かせないであろう事を前報¹⁾で述べた。ここで「カラー」という表記は、光輝性顔料を含む塗色から発現する多様な質感をも含めた「色」を明示的に示すために用いた。

高度にデザイン性を追求した結果としての「カラー」を、計測によって必要十分に捉えたいという工学的な要求が近年高まっている。本研究は、その要求実現への試みとして、多角度測色計によるマクロな色彩測定を補完する事のできる新たなマイクロ光輝感測定の確立を目指した。そのために、前報で示したマイクロ光輝感パラメータを、より一層官能評価に符合させて使い易くするための改良検討から着手した。一連のマイクロ光輝感パラメータを改良した後に、測定の確実性、簡便性を増すために専用の測定装置を完成させた。当初より狙いとしてきた「カラー」の特定に対しては、近似色検索における的中率という指標を用いて評価を行った。また、応

用技術の一例として、コンピュータ調色への利用可能性に関しても検討を加えた。

込まないようにした。試料塗板上の照度は約2000ルクスであった。

2. 官能実験の方法

2.1 試料塗板の選定

官能評価実験を行うに際して、目的別に12の試料塗板グループを選定して使い分けた。表1に示す。

2.2 観察条件

照明光源と観察角度の違いで次の3つの観察条件を設定した。

a. 観察条件1

照明光源として人工太陽灯(岩崎電気(株):ルミナス)を用いた。光源の前に黒布で覆った机を置き、パネルを机の前に着座させた。パネル側の机の端から10cmの位置に試料塗板の真ん中を位置合わせして置き、試料塗板の端を机から離さないようさせながら手に持たせて観察させた。光源は机の面より45cmの高さに調整し、パネル側の机の端から70cmの距離に置いて、机上に置いた試料塗板の真ん中に向きを合わせた。パネルの目が机の面から30cmの高さになるように椅子を調整して、光源からの正反射光が目に入らないギリギリの角度で試料塗板を観察させた。この観察角度条件を「正面」条件と名付けた。これを図1に示す。なお、周囲から外光が入らないように暗室を用いた。また、光源とパネルの間には遮光用の黒カーテンを取り付け、さらに、光源後方の壁面は黒布で覆い、試料塗板に余分な影が映り

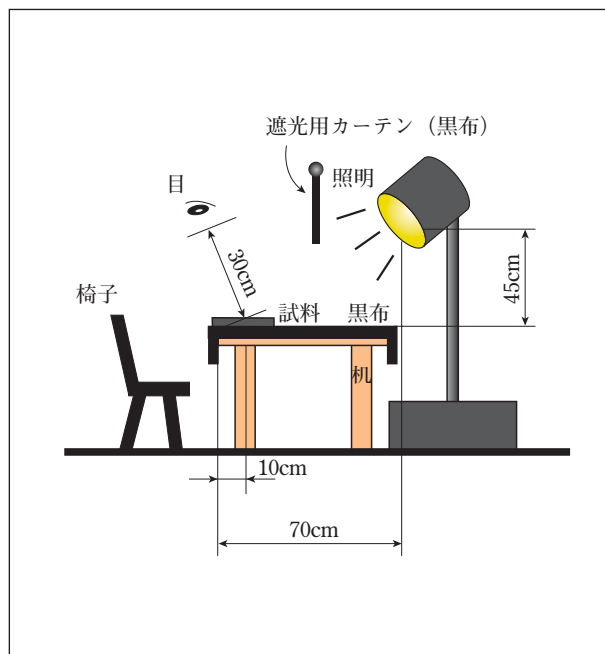


図1 観察条件①および②の概念図

b. 観察条件2

照明光源、幾何条件、遮光等は観察条件1と同じにし、机上の試料塗板を、丁度、試料塗板がパネルの目に向き合うようにパネル側に傾けさせて観察させるようにした。この時、入射/受光の幾何条件は、概ね75°/0°であった。この観察角度条件を「スカシ」条件と名付けた。試料塗板上の照度は約2000ルクスであった。

表1 目視実験に用いた試料塗板

塗色グループ	明度域	枚数	塗色名
①アルミ顔料濃度を一定にして粒径を変えたシルバーメタリック塗色	高明度	32	101~132
②アルミ顔料濃度を一定にして粒径を変えたブルーメタリック塗色	中明度	15	201~215
③光輝性顔料を2種類以上使用したメタリック・パール塗色	低明度	8	301~308
④1、2種類のアルミ顔料を使用したアルミ顔料濃度一定のシルバーメタリック塗色	高明度	6	401~406
⑤アルミ顔料濃度を一定にして粒径を変えたシルバーメタリック塗色	高明度	3	501~503
⑥アルミ顔料濃度を一定にして粒径を変えたシルバーメタリック塗色	高明度	10	601~610
⑦1、2種類の光輝材を使用した塗色	低~高明度	12	701~712
⑧2種類のアルミ顔料を混合したシルバーメタリック塗色	高明度	6	801~806
⑨2種類のアルミ顔料を混合したグレーメタリック塗色	中明度	8	901~908
⑩2種類のアルミ顔料を混合したブラックメタリック塗色	低明度	7	1001~1007
⑪2種類のアルミ顔料を混合したシルバーメタリック塗色	高明度	7	1101~1107
⑫2種類のアルミ顔料を混合したグレーメタリック塗色	中明度	6	1201~1206

c. 観察条件 3

太陽光を用いた。11時～14時の晴天時に限定して、南側の部屋の透明ガラス越しに試料塗板に直射光が当たるようにした。パネルに30cm前後の距離をおいて試料塗板を手に持たせて「正面」条件で観察させた。試料塗板上の照度は、約10万ルクスであった。

2.3 目視評価実験における教示

次の2つの教示パターンを用いた。

a. 教示パターン1

「○○感を△△のように定義する。この定義に従って、順番に試料を並べよ」

b. 教示パターン2

「○○感を△△のように定義する。この定義に従って、2つの試料を見比べてどちらの○○感が大きいか、あるいは同等かを判定せよ。」

(ここで○○感はマイクロ光輝感を構成する知覚用語、△△にはその定義内容が入る)

2.4 パネル

色覚正常な年齢25～53才の男子5名をパネルとした。

2.5 官能値の尺度化

試料塗板グループを選び、観察条件を決めて、パネルに教示を与えて目視評価実験を行った。その結果を前報と同様に合成標準法²⁾を用いて尺度化した。

3. ミクロ光輝感パラメータの改良

前報¹⁾では「粒子感」に概ね相関を示す画像計測パラメータとしてIPSL(Integration of Power Spectrum of Low Frequency)を、「キラキラ感」に概ね相関を示す画像計測パラメータとしてBV(Brilliance Value)を導出した。様々なメタリックカラー、パールカラー試料塗板の測定を通じて、これらのパラメータが取り得る値の範囲は、IPSLがおよそ0.15～0.48、BVが50～250であり、2つのパラメータのスケールに大きな隔たりのある事を確認した。また、IPSLに関しては目視尺度としての「粒子感」との間にシルバーメタリック塗色では概ね保たれる直線関係が、中明度塗色から低明度塗色にかけてくびれが生じて直線性が損なわれる事も確認された。この事を図2に示す。

そこで、前報において導出したパラメータの改良、さらに、測定事例の増大に伴って発現してきた2つのパラメータで説明仕切れない事象の究明とその結果としての新たなパラメータの導出に関して検討した。

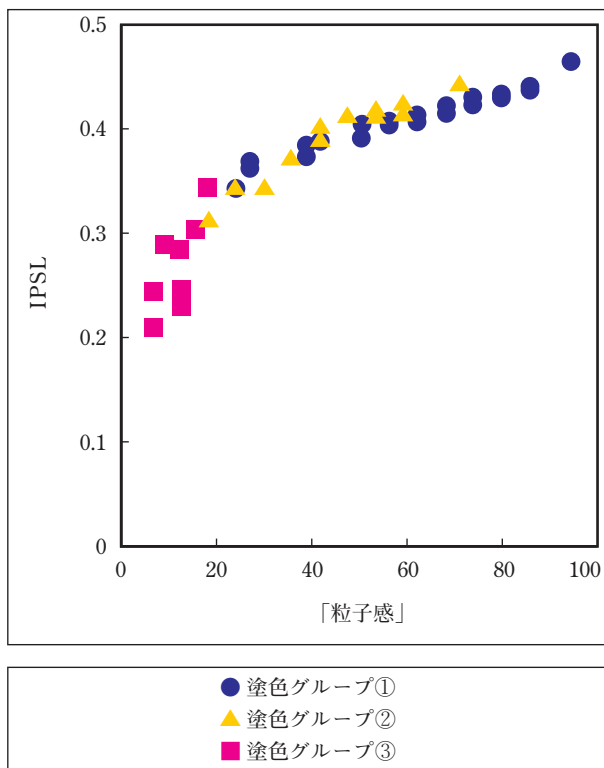


図2 観察条件①での「粒子感」とIPSLの関係

3.1 HGとHBの導出

IPSL、BVに関して、光輝性顔料が含まれる全対象塗色の測定値が概ね0～100の範囲の値を取るように、またIPSLに関しては、全対象試料塗板の「粒子感」と計測パラメータの間に概ね直線性が保たれるように、式1および式2に示す変換式を導いた。

$$\begin{aligned} HG &= 500 \cdot \text{IPSL} - 142.5 & \text{IPSL} \geq 0.32 \\ HG &= 102.9 \cdot \text{IPSL} - 15.4 & 0.32 > \text{IPSL} \geq 0.15 \\ HG &= 0 & 0.15 > \text{IPSL} \end{aligned} \quad \text{(式1)}$$

$$HB = (\text{BV} - 50) / 2 \quad \text{(式2)}$$

これによって、「粒子感」に対するIPSLはHG (High-light Graininess)に、「キラキラ感」に対するBVはHB (High-light Brilliance)へとそれぞれ再定義された。図2と同一試料に関する「粒子感」とHGの関係を図3に示す。同様にしてBVとHGの関係を図4に示す。また、現在用いられている光輝性顔料を含む自動車用塗色から無作為に選んだ5000色に関して、マイクロ光輝感パラメータ・マップとしてのIPSL/BV散布図を図5に、HG/HB散布図を図6に示す。なお、この5000色の測定は後述するマイクロ光輝感測定装置を用いて行った。

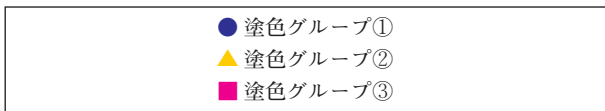
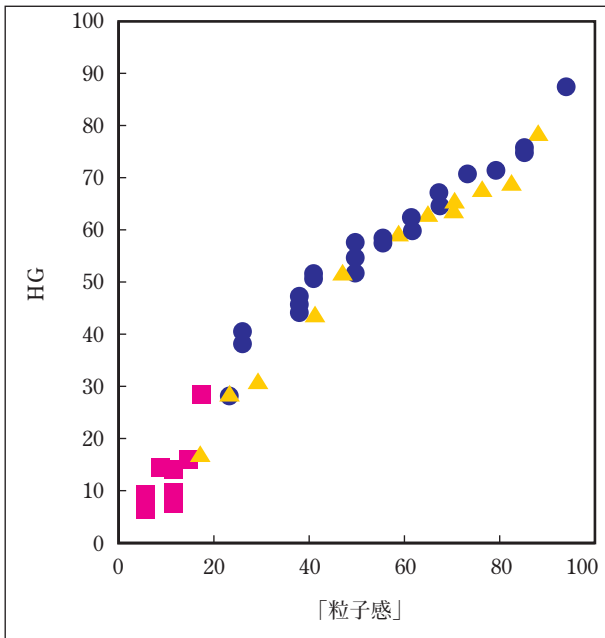


図3 観察条件①での「粒子感」とHGの関係

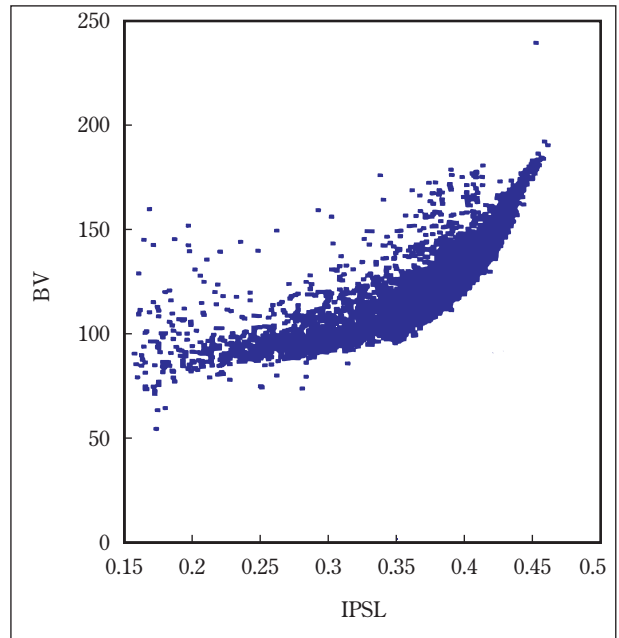


図5 光輝性顔料を含む自動車用塗色（5000色）のIPSL/BV散布図

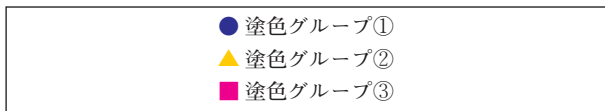
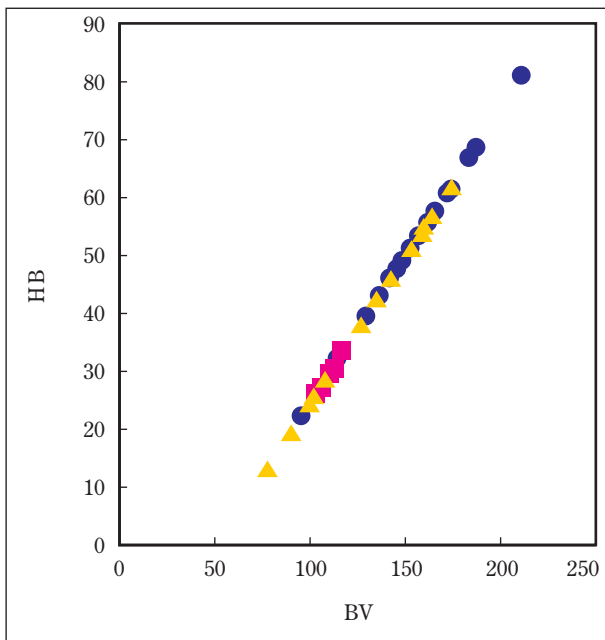


図4 BVとHBの関係

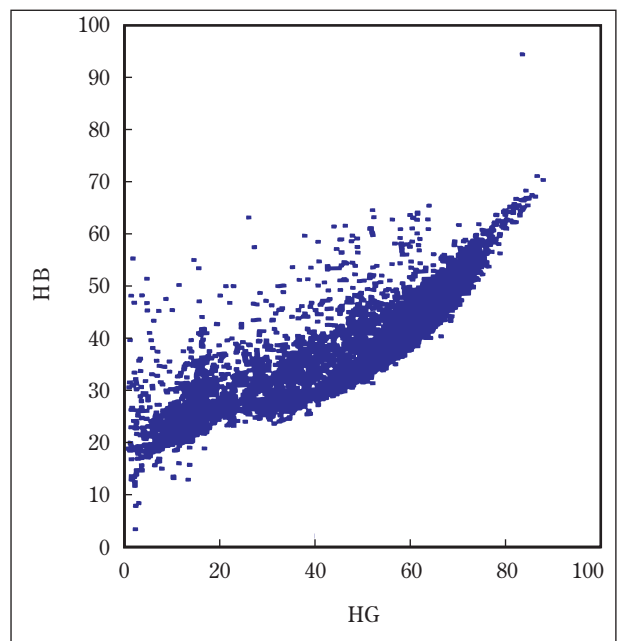


図6 光輝性顔料を含む自動車用塗色（5000色）のHG/HB散布図

3.2 HBL (High-light Brilliance at Low-illumiance) の導出

3.2.1 HBが「キラキラ感」と相関しない事例

塗色グループ4に関して観察条件1、教示パターン1によって「キラキラ感」に関する目視評価実験を行った。その結果を図7(a)に示す。図中の試料403、405が突出した挙動を示してHBと「キラキラ感」の間の相関を損なう事が確認された。試料403、405はシルバーメタリック色で、詳細に観察すると、他の大半のシルバーメタリック色とは異なり、突出した強さで輝く微小部分ごく微量ではあるが試料塗板中に散在するのが観察された。目視評価では、この微量の強い輝きを「キラキラ感」として特に強く知覚するものと考えられる。これ

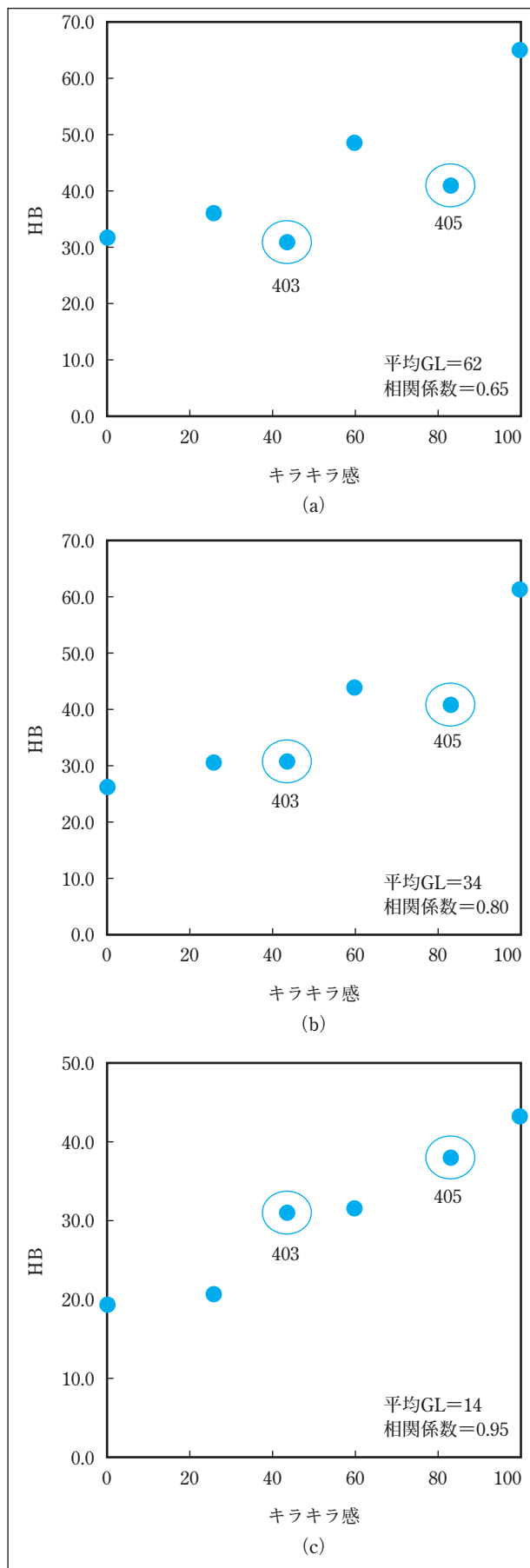


図7 塗色グループ④の「キラキラ感」とHB (GL=62、34、14) の関係
GL=グレーレベル

を電子画像上に捉えるために、露光量を段階的に変えて撮影を行った。露光量は、試料塗板を撮影する前に前報に示した方法で鏡面白磁板を撮影して、そのデジタル画像の平均グレーレベル(以後GL)が62~14となるように調節した。図8ではGL=62、34、14での試料305の画像とその輝度分布を示した。パラメータHG導出における露光条件GL=62では多数の輝度ピークが概ね均質に分布しているのが認められる。一方、GL=14では、突出した高輝度ピークが捉えられている。前報では、明度の異なる試料に幅広く適用可能な最大公約数としての露光量をGL=62と特定した。突出した強い輝きを示す一部の特異な試料塗板の「キラキラ感」を捉えるためには、露光量を下げる必要があると考えられる。

3.2.2 HBLの露光量の決定

低露光量条件で撮影したデジタル画像からHBと同一式を用いて導出したマイクロ光輝感パラメータをHBL (High-light Brilliance at Low-illuminance)と命名する事によってHBと区別した。

突出した強い輝きを示す一部の特異な試料塗板が含まれる塗色グループ4において、「キラキラ感」の目視順位とHBLの順位相関が最大となる露光条件を求めた結果、図7に示されるように、HBLの最適露光条件はGL=14と特定された。

3.2.3 HBLの有効な領域

大半の試料塗板に対して「キラキラ感」はHBと高い相関を示す。シルバーメタリック塗色を中心にして、背景に相対的には低輝度で均質な「キラキラ感」を示しながら、突出した強い輝きが散在する試料塗板では、HBLを計測しておく事によって、その特異な「キラキラ感」を補助的に捉える事が可能になったといえる。HBLは、前報でも触れたように、輝度情報に対する視覚系の高度な構造に基づく広いダイナミックレンジをCCDカメラで模擬する上での便宜的なパラメータと位置づける事ができる。

HBLはその性質上、低明度の塗色に対しては測定値の信頼性が著しく低下する。後述する弁別域と測定値の繰り返し再現性の両面から総合して、HBLの有効な領域は、試料塗板に対して入射角25°/受光角0°の条件で測定して得られたL*値が40以上の中~高輝度塗色に限定した。

3.3 SB(Shade Brilliance)の導出

3.3.1 「スカシ」条件におけるマイクロ光輝感差

塗色グループ5に関して観察条件1、教示パターン1によって「キラキラ感」に続いて「粒子感」に関する目視評価実験を行った。次いで、観察条件だけを2に変えて同様の目視評価実験を行った。その結果を図9に示す。「正面」条

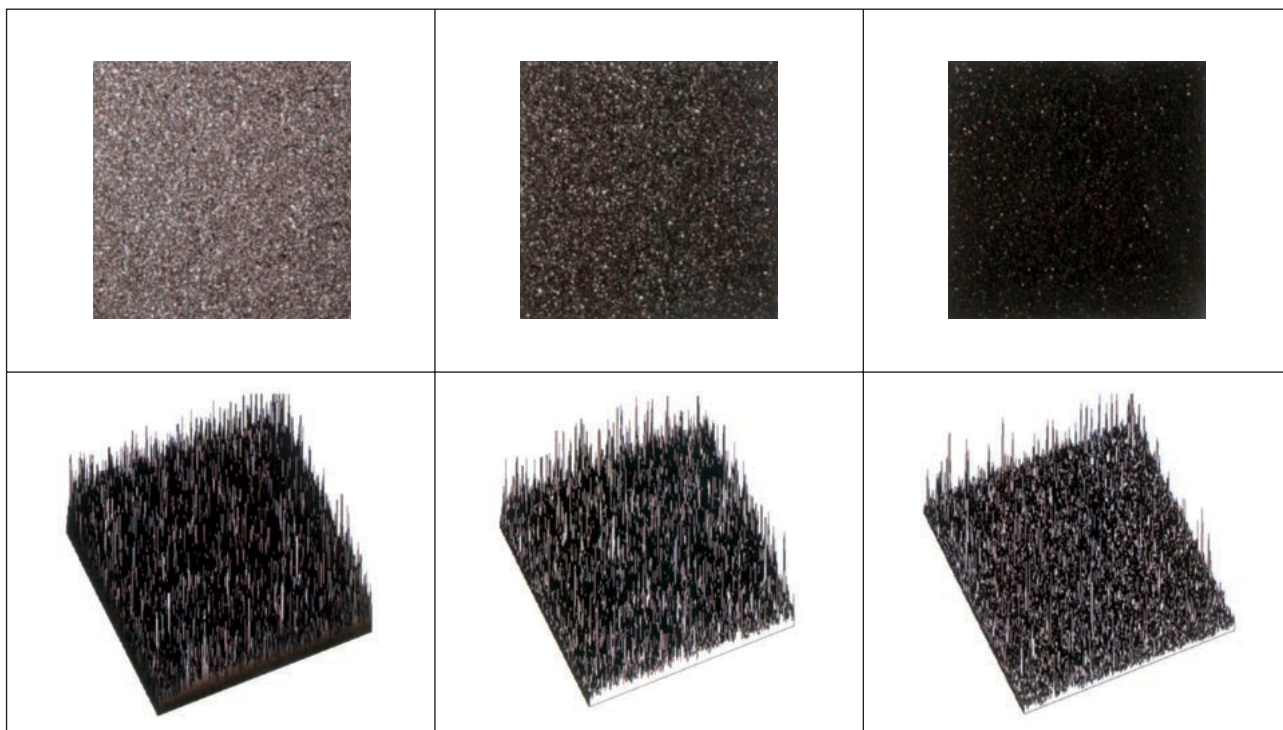


図8 試料塗板405をCCDカメラの露光量を段階的に変えて撮影した電子画像（上段）と鳥瞰図（下段）
（左）GL=62 （中）GL=34 （右）GL=14

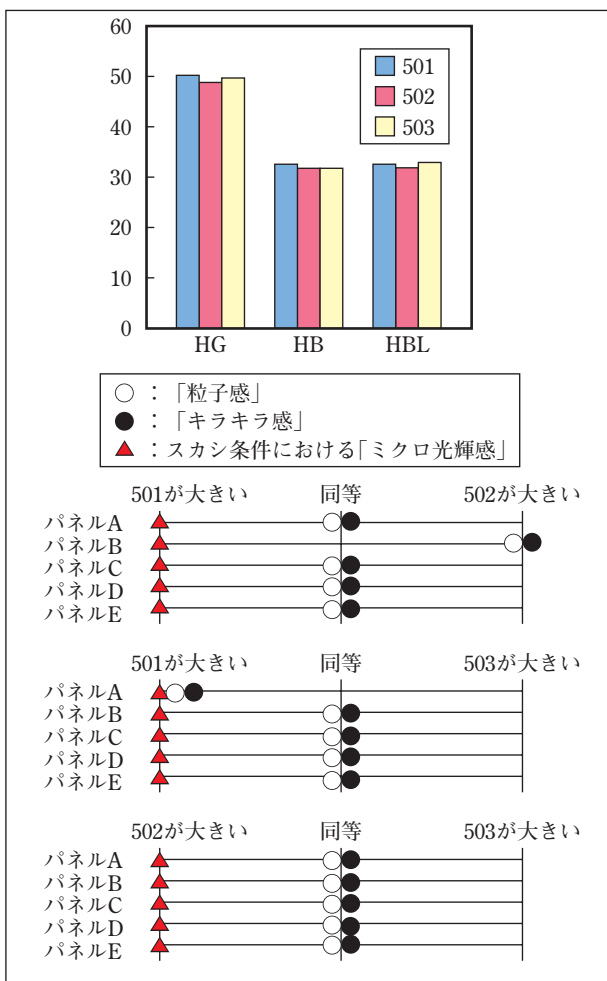


図9 塗色グループ⑤のHG、HB、HBL値および「粒子感」、「キラキラ感」、スカシ条件における「マイクロ光輝感」の目視評価実験結果

件での「粒子感」と「キラキラ感」が同等と判断されながら、「スカシ」条件になると明らかに大小が異なって目視評価される試料対の存在する事が明らかとなった。

前報では、マイクロ光輝感の目視評価実験における観察条件は、照明光源の種類を規定したうえで自由観察としてきた。結果として、マイクロ光輝感を最も厳しく評価できる条件としての「正面」条件が選択されてきた経緯がある。HG、HB、そしてHBLに関しては、この自由観察におけるマイクロ光輝感と最も相関の取れる撮影条件としての入射角15°/受光角0°が採択された。しかし図9が示すように、シルバーメタリック塗色を中心にして、マイクロ光輝感に関しても、主としての「正面」条件での観察に加えて、副としての「スカシ」条件での観察が必要となる場合の存在する事が確認された事になる。マイクロ光輝感計測もこの事に対応する必要があると考えられる。

3.3.2 「スカシ」条件用のマイクロ光輝感計測

水平に固定した試料を、垂直直下方式でCCDカメラで撮影するという今までの条件を踏襲しつつ「スカシ」条件を満たすために、入射角75°/受光角0°に設定した。

「スカシ」条件におけるマイクロ光輝感は「正面」条件に比して明度の低下が著しいために、「粒子感」と「キラキラ感」を区別して知覚する事が難しい。強いて言えば「キラキラ感」という事であろうが、1つにまとめて「マイクロ光輝感」とした。

塗色グループ6に関して観察条件2、教示パターン1によって「マイクロ光輝感」に関する目視評価実験を行った。この目

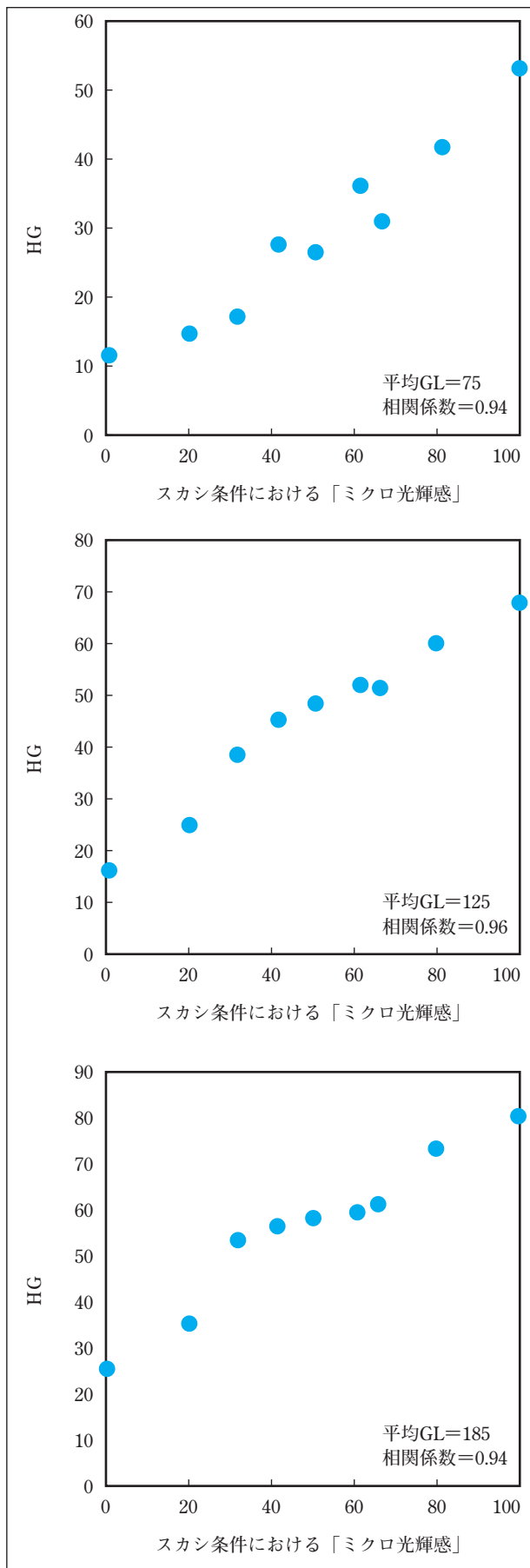


図10 塗色グループ⑥のスカシ条件における「マイクロ光輝感」と入射角75°/受光角0°で測定したHG (GL=75、125、185) の関係

視評価実験に最も高い相関を示す計測パラメータとして、GL=125の撮影条件におけるHGを特定した。これを図10に示す。このパラメータを、「スカシ」条件における「マイクロ光輝感」に対応するパラメータとしてSB (Shade Brilliance) と命名した。

4. ミクロ光輝感測定装置

HG、HB、HBL、SBの4つのマイクロ光輝感パラメータが確定したため、これら4つのパラメータを自動測定する事のできる専用装置を作成した。

4.1 装置の概要

マイクロ光輝感測定装置は、測定ボックスと外付けのパーソナルコンピュータ(以後PC)から構成した。測定ボックスは、CCDカメラ、照明用光源、シャッター等の制御機構を内蔵している。PCは測定ボックスと結線されており、測定ボックスとデジタル情報の交信を行う。PCには専用のソフトウェアが搭載されており、測定ボックス側の測定制御を行った後、撮影されたデジタル画像を受信して4つのパラメータを順次計算して表示出力する。マイクロ光輝感測定装置の外観を図11に示す。



(a)



(b)

図11 ミクロ光輝感測定装置の外観図
(a) 全体図
(b) 測定ボックス

4.2 動作と機構

a. 測定ボックス

外観形状は40cm×23.2cm×47.3cmの箱型で、正面左端に28mm径の円形の測定開口部が配置されている。開口部の中心8.1mm×8.1mmが撮影有効範囲となっている。測定開口平面の垂線上にはCCDカメラ(約32万画素数)が固定されている。照明ユニットから2本に分配された光ファイバーは、それぞれ入射角15°/受光角0°と入射角75°/受光角0°となるように固定されている。このように、測定ボックス内の光学系は前報に示した画像計測装置を概ね踏襲した配置となっている。

b. グレイレベル(GL)の校正

測定を始める前に、鏡面白磁板を用いて個々のマイクロ光輝感パラメータ測定における露光量の校正を行っておく必要がある。校正用のソフトウェア上でHG,HB,HBL,SBの個々に対して適正GLを設定した後に、ソフトウェアの指示に従って鏡面白磁板測定を行なう事で校正は自動的になされる。

c. 測定

試料塗板を測定開口部に固定して、PC上から測定指示を与えると、入射角度15°の光源のシャッター(図12中のa)

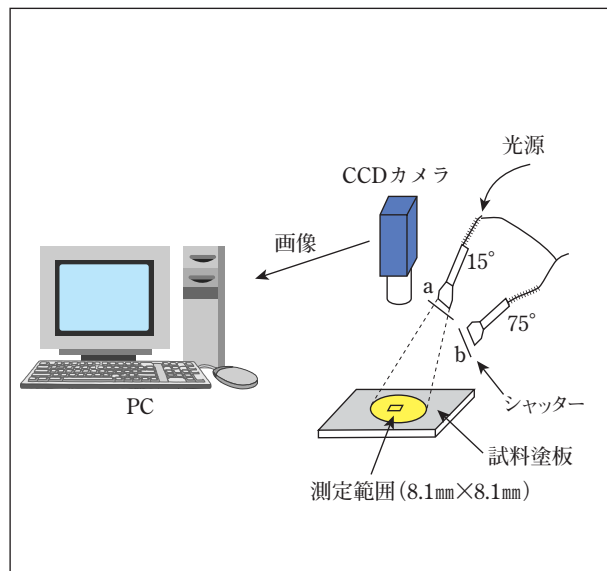


図12 ミクロ光輝感測定装置の機構概念図

が開いて試料面に光が照射される。CCDカメラでHG、HBの校正条件に従って試料を撮影した後、その画像データはPCに送信され、HG、HBが計算される。同様にして、HBLの校正条件に従って撮影後、その画像データはPCに送信されHBLが計算される。最後に、15°のシャッターが閉

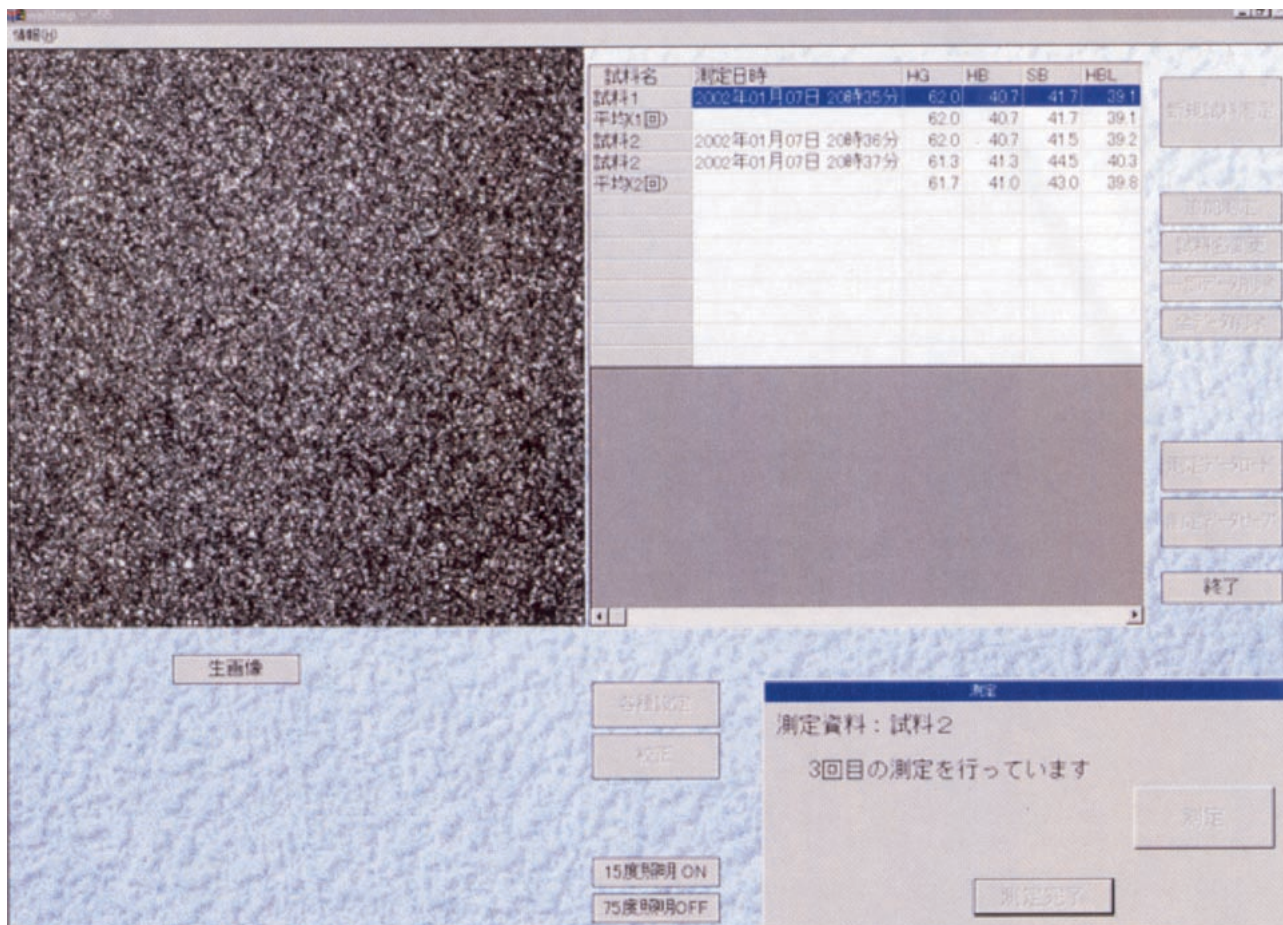


図13 測定結果のPCのモニター上の表示例

じ、75°のシャッター（図12中のb）が開いて、SBの校正条件に従って撮影後、その画像データはPCに送信されSB値が計算される。次いで、PCのモニターに計測結果が表示される。モニター上の表示例を図13に示す。測定結果はエクセルファイル形式で保存でき、画像データもユーザ選択により保存する事ができる。

4.3 諸性能

a.測定速度

試料をセットして測定を開始してからHG、HB、HBL、SBの4つのパラメータがモニター画面に表示されるまでの時間

は約30秒である。

b.連続測定精度

試料塗板として明度の異なるメタリック塗色3種を選定した（表2）。各々の試料塗板を部位を変えずに連続して10

表2 ミクロ光輝感測定装置の精度検証に用いた試料塗板

試料	明度域
試料A：シルバーメタリック塗色 (L*25=99.0)	高明度
試料B：グレーメタリック塗色 (L*25=44.0)	中明度
試料C：ブラックメタリック塗色 (L*25=12.5)	低明度

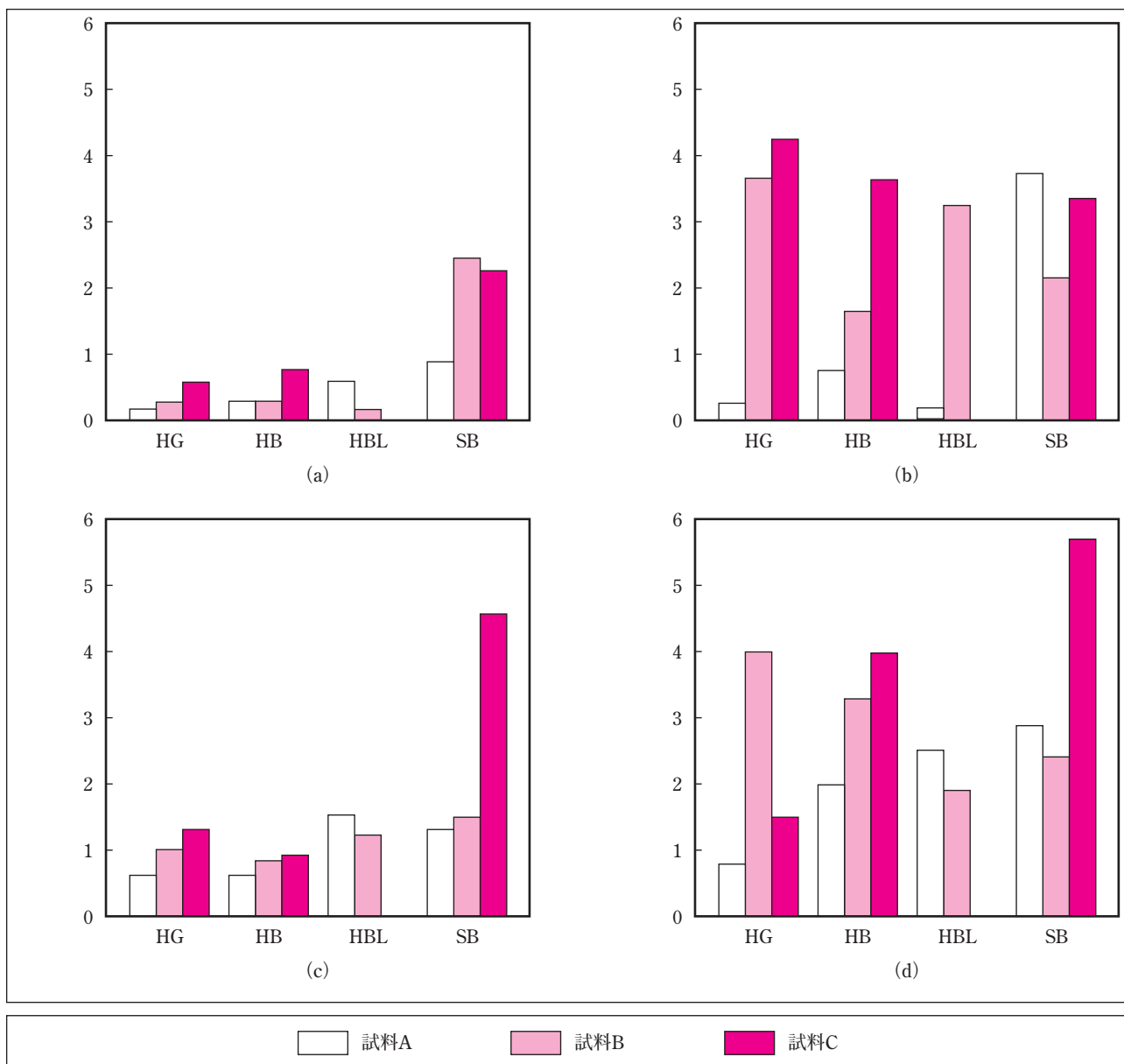


図14 測定精度検証結果

- (a) 10回連続測定（部位を変えず）したときのパラメータ変動
 - (b) 10回連続測定（部位を変える）でのパラメータ変動
 - (c) 日を変えて3回同一部位を測定したときのパラメータ変動
 - *(d) 日を変えて3回同一部位を測定したときのパラメータ変動
- ※試作機での評価

回測定したときの各測定パラメータの変動(最大値と最小値の差)を評価した。また、参考として、試料塗板の測定部位を変えながら10回の測定を行い変動の大きさを比較した。その結果を図14に示す。部位を変えずに連続測定した場合、HG、HB、HBLは良好な精度を示した。SBは中明度以下でやや誤差が大きくなる。部位を変えての測定では、中明度以下で精度の低下が認められる。SBは全明度域で、後述する弁別域と同レベルにまで繰り返し精度は低下する。

c. 日間測定精度

表2の試料塗板の同一部位を、3日間、各1回ずつ測定した上で、各パラメータの変動を評価した。その結果、連続測定に比して精度は低下傾向にあるが、低明度域におけるSBを除けば、後述する弁別域に比して実用上容認し得る。低明度試料のSB測定では十分な注意が必要である。

因みに、前報における試作機での日間測定精度は高～中明度に限定したとしても0.8～4.0であり、本報におけるマイクロ光輝感測定装置では大きく測定精度が向上されている。

4.4 ミクロ光輝感と測定パラメータの順位の不一致

マイクロ光輝感測定装置を用いて多数の測定を比較的容易に行うことが出来るようになったが、測定事例の増加と共に、目視評価されるマイクロ光輝感と、計測される4つの測定パラメータとの間で、主に順位の不一致が生じる場合も少なからず確認されるようになった。特に「キラキラ感」で顕著なため検討を加えた。

4.4.1 「キラキラ感」の尺度としての不安定さ

「キラキラ感」を構成する知覚因子として強い／弱い、粒の大きい／小さい、硬質な／ソフトな、粒の多い／少ない、の4つを前報で挙げた。目視評価実験の結果、これらの因子が複雑に作用しての「キラキラ感」が、かろうじて1次元の尺度として成立している事を示したが、種々の試料塗板を組み合わせて、「キラキラ感」に対する教示パターン1による並べ替え実験を行う過程で、パネル個々の判断差、パネル個人の中での判断のゆらぎが、無視できないレベルの大きさに達する場合が認められた。塗色グループ7に関して観察条件1、教示パターン1によって、5名のパネルを使って「キラキラ感」を評価したときの合成標準法の結果を図15に、同一パネルの日を変えての例を図16に示す。目視順位はパネルに

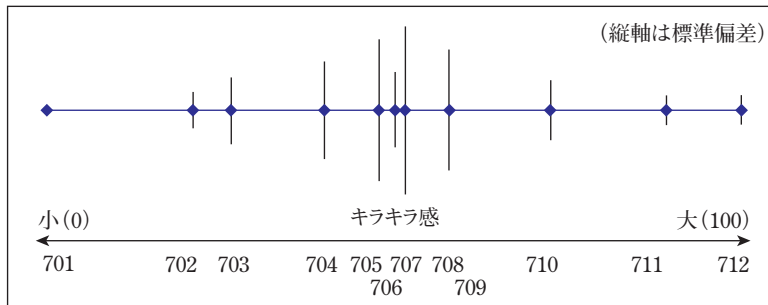


図15 塗色グループ⑦の観察条件①での「キラキラ感」の順位付け目視実験結果

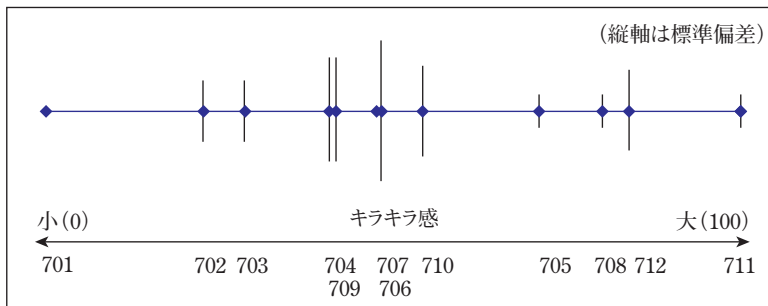


図16 日を変えて3回「キラキラ感」の順位付け目視実験を行ったときの、あるパネルの判断のゆらぎ(標準偏差)(塗色グループ⑦、観察条件①)

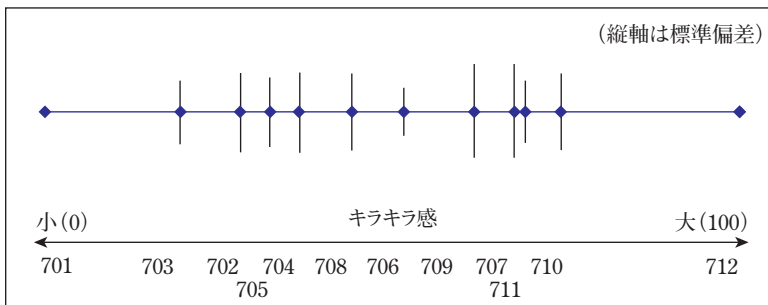


図17 塗色グループ⑦の観察条件③で観察したときの「キラキラ感」の順位付け目視実験結果

よって大きく変動し、繰り返しによっても変動している。概して、明度差、色相差の大きな試料塗板間の「キラキラ感」を比較する場合にこの傾向は著しい。また、観察条件の違い、例えば、室内の拡散照明と太陽光による直射照明で、「キラキラ感」の順位が変動する事例も確認された。塗色グループ7に関して観察条件2、教示パターン1によって、「キラキラ感」を評価したときの結果を示す(図17)。図15の観察条件1での目視結果と比べると、「キラキラ感」の順位が変動していることがわかる。

しかし、「キラキラ感」をHB、HBLで評価する必要がある場面を考えると、ごく希な例外を除けば、概ね同一明度、同一色相に属する試料塗板間のマイクロ光輝感差を評価する場合に限定される。この事から、「キラキラ感」の1次元尺度としての不安定さは認められるものの、知覚尺度としての「キラキラ感」、並びに計測値としてのHB、HBLに一定の役割を担わせる事ができるものと考えられる。

5. ミクロ光輝感パラメータの弁別閾の把握

ミクロ光輝感パラメータHG、HB、SBの各々に関して、計測される値の差がどの程度に広がるミクロ光輝感としての相違を知覚する事になるのかを簡易な実験で調べた。言い換えるなら、観察者によって検知できる最小の刺激の差異を把握するという事であり、これはミクロ光輝感パラメータに対する弁別閾を把握する事になる。なお、HBLに関しては、補助的パラメータとの位置付けで、今回、検討を加えていない。

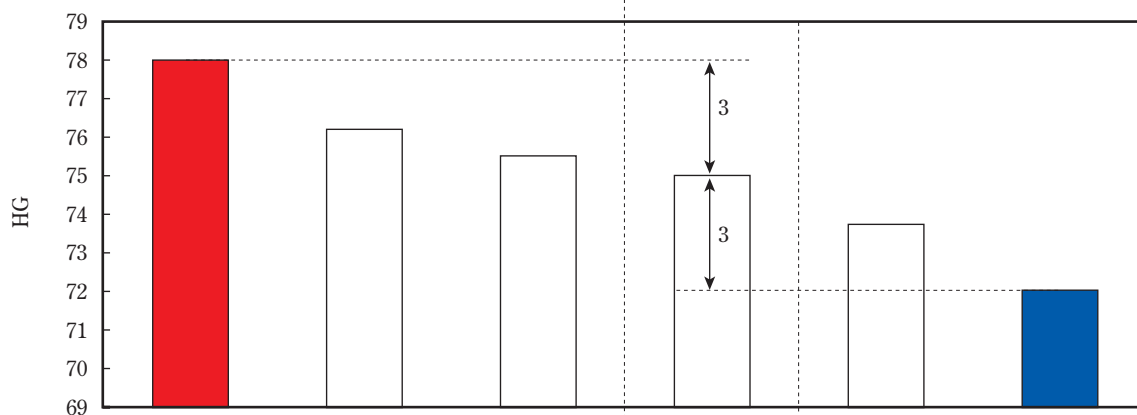
5.1 HGの弁別閾

5.1.1 試料塗板

試料塗板として、「正面」条件での明度を概ね一定に調整した塗色グループ8、9を用いた。塗色グループ8は、試料番号801（シルバーメタリック塗色でHGは78.2）と試料番号806（シルバーメタリック塗色でHGは72.2）を両端とし、その中間を段階的にHGが異なる合計6種の試料とした。同様に、塗色グループ9は、入射角25°/受光角0°でのL*値が約40程度になるように黒色塗料で調整した中明度のグレーメ

	塗色名					
	1001 (基準板)	1002	1003	1004	1005	1006
パネルA		○	×	×	×	×
パネルB		○	○	×	×	×
パネルC		○	○	○	×	×
パネルD		○	○	×	×	×
パネルE		○	○	×	×	×
パネルF		○	○	○	×	×

○：基準版1001に比べて「粒子感」が同等（ほぼ同等）
 ×：基準版1001に比べて「粒子感」が小さい



塗色名	1001	1002	1003	1004	1005	1006
ΔHG (1)	—	-1.9	-2.6	-3.0	-4.4	-6.0
ΔHG (2)	6.0	4.1	3.4	3.0	1.6	—

ΔHG (1)：(試料のHG) - (基準板 (1001) のHG)
 ΔHG (2)：(試料のHG) - (基準板 (1006) のHG)

	塗色名					
	1001	1002	1003	1004	1005	1006 (基準板)
パネルA	×	×	×	×	×	
パネルB	×	×	○	○	○	
パネルC	×	×	×	×	○	
パネルD	×	×	×	○	○	
パネルE	×	×	×	○	○	
パネルF	×	×	×	×	○	

○：基準版1006に比べて「粒子感」が同等（ほぼ同等）
 ×：基準版1006に比べて「粒子感」が大きい

図 18 高光度でのHG値の弁別閾を把握するための目視評価実験結果

タリック塗色で、試料番号901(HGは72.1)と試料番号908(HGは64.4)を両端とし、その中間を段階的にHGが異なる合計8種の試料とした。

5.1.2 目視評価実験の手順

塗色グループ8に例をとって、その手順を説明する。まず、両端の試料の1つである801を基準試料に選び、それ以外の試料802～806の5試料を比較試料とする。5種の比較試料から無作為に1試料ずつ選び出し、基準試料と比較試料の「粒子感」の大きさを評価させた。基準試料が比較試料より「粒子感」の大きい場合は「大」、小さい場合は「小」、差が認められない場合は「同等」を記入させた。5種の比較試料の全ての目視評価が終了したら、両端のもう一方の試料である試料806を基準試料に変えて、残りの5種の試料を比較試料とする同様の目視評価を行わせた。

5.1.3 実験と結果

塗色グループ8,9に対して、観察条件1、教示パターン2によって5名のパネルに「粒子感」の大きさを比較させた。塗色グループ8の基準試料を801とした場合に関して結果の詳細を図18に示す。また、全体の弁別域の結果一覧を表3に示す。

系統的な実験とは言い難く結論を導き出し難いが、中～高明度で、HGの大きさには概ね依存せずにHGの弁別域は3と把握された。

表3 目視評価実験によるマイクロ光輝感パラメータの弁別域の結果

	塗色の明度領域		
	高明度	中明度	低明度
HG弁別域	3	3	—
HB弁別域	3	3	4
SB弁別域	4	3	—

5.2 HBの弁別域

5.2.1 試料塗板

試料塗板として、塗色グループ8,9に加えて10を用いた。塗色グループ8は、試料番号801シルバーメタリック塗色でHBは59.8)と試料番号806(シルバーメタリック塗色でHBは52.5)を両端とし、その中間を段階的にHBが異なる合計6種の試料とした。塗色グループ11は中明度のグレーメタリック塗色で、試料番号901(HBは48.9)と試料番号908(HBは42.2)を両端とし、その中間を段階的にHBが異なる合計8種の試料とした。同じく、塗色グループ10は、入射角25°/受光角0°でL*の値が約25程度になるように黒色塗料で調整した低明度のグレーメタリック塗色で、試料番号1001(HB

は37.1)と試料番号1007(HBは30.4)を両端とし、その中間を段階的にHBが異なる合計7種の試料とした。

5.2.2 目視評価実験の手順

教示内容を「キラキラ感」に置き換えて、前述のHGにおける目視評価と同じ実験手順で実施した。

5.2.3 実験と結果

塗色グループ8,9,10に対して、観察条件1、教示パターン2によって5名のパネルに「キラキラ感」の大きさを比較させた。HBの弁別域の結果を表3に示す。

HBの弁別域は、概ね3と把握されたが、低明度になるとその値は上昇して4を示した。

5.3 SBの弁別域

5.3.1 試料塗板

試料塗板として、「スカシ」条件での明度を概ね一定に調整した塗色グループ11,12を用いた。塗色グループ11は、試料番号1101シルバーメタリック塗色でSBは36.0)と試料番号1107(シルバーメタリック塗色でSBは22.3)を両端とし、その中間を段階的にSBが異なる合計7種の試料とした。塗色グループ12は、入射角75°/受光角0°でのL*値が約20程度になるように黒色塗料で調整した低明度のグレーメタリック塗色で、試料番号1201(SBは35.3)と試料番号1206(SBは28.7)を両端とし、その中間を段階的にSBが異なる合計6種の試料とした。

5.3.2 目視評価実験の手順

教示内容を「マイクロ光輝感」に置き換えて、前述のHGにおける目視評価と同じ実験手順で実施した。

5.3.3 実験と結果

塗色グループ11,12に対して、観察条件2、教示パターン2によって5名のパネルに「マイクロ光輝感」の大きさを比較させた。SBの弁別域の結果を表3に示す。

SBの弁別域は、概ね4と把握されたが、中明度になるとその値は低下して3を示した。

6. CCS(Computer Color Search)での利用

無数とも言える「カラー」の中から着目する特定の「カラー」ないしは近似の「カラー」を素早く探し出すためにはコンピュータ検索が欠かせない。このCCSを、我々が対象としてきたメタリックカラー、パールカラーなどの、いわゆる「カラー」に適用するに際して最も重要な技術課題は、「カラー」を分離識別する人間の知覚に対応する必要十分な計測値の把握、

であると考えた。多角度測色計から得られる計測値と本研究にて検討してきたマイクロ光輝感計測値を組み合わせる事で、この命題にどこまで肉薄できるかを検討した。

6.1 多角度測色計を用いたCCS

6.1.1 実験方法

a. 見本色

光輝性顔料を含む塗色に限定したうえで、現在、路上を走行している自動車の中からガソリンキャップ^{註a)}等のパーツを集めて、これを見本色とした。したがって、見本の形状は平板状ではなく、なだらかな曲面形状となっている。高明度から低明度にわたる概ね全色相を網羅する200塗色の見本を収集した。

b. 目視評価に基づく最近似「カラー」の特定

色評価の経験者3名をパネルとし、観察条件1の環境において自由観察を許したうえで、各見本に対して、ABI (Alesco Bodycolor Information)色票^{註b)}の中から最近似と思われる色票1枚を選定させた。その結果、3名のパネルの内、2名以上が一致した色票を選定した168塗色を実験用データとした。

c. 多角度測色計による測定

光学系の構造を異にするA、Bの2機種を選び、168塗色の見本と全ABI色票を測定した。機種Aはリング型配置の照明系を特徴とし、測定の際の幾何条件は、25°、45°、75°の入射、0°の受光、照射面内での鏡面反射方向から測られた観察角で表記すると(25°)、(45°)、(75°)の3角度タイプ、機種Bは一方向照明で、45°の入射、30°、20°、0°、-30°、-65°の受光、照射面内での鏡面反射方向から測られた観察角で表記すると(15°)、(25°)、(45°)、(75°)、(110°)の5角度タイプである。2つの測色計の構造を図19に示す。

d. CCSの実施

3角度の測色データに基づいて、見本と個々のABI色票の間の3角度の色差の和を検索における評価値とした。これを、式6.1に示す。

$$\text{検索評価式1} = \Delta E^*1 + \Delta E^*2 + \Delta E^*3 \quad (\text{式6.1})$$

ここで、 ΔE^* は $L^*a^*b^*$ による見本とABI色票間の色差、添え字の1、2、3は3角度の番号を意味する。検索評価式が最小となるABI色票がCCSの検索結果となる。機種Bでは5角度の測色データが得られるので、5角度の中から次の3角度を選定した条件1~3に関してCCSを実施した。

条件1; (25°)、(45°)、(75°)

条件2; (25°)、(45°)、(110°)

条件3; (15°)、(45°)、(110°)

6.1.2 実験結果

3名のパネルの内、2名以上が一致して最近似と評価する色票が検索された場合を的中と表現し、168塗色における的中率の結果を図20に示した。

機種Aが59%と最大の的中率を示した。機種Aと同一角度条件と言える機種Bの条件1との間での的中率に6%の差が生じた。機種Bの3つの条件の中では7%の的中率差が生じ、中では条件2が僅差ではあるが最大の的中率を示した。

6.1.3 測色計の構造と測定値の再現性

機種、選んだ角度の相違で的中率に差が生じた。大きな要因として曲面形状の試料測定における測定値の再現性、信頼性を挙げられると考えた。

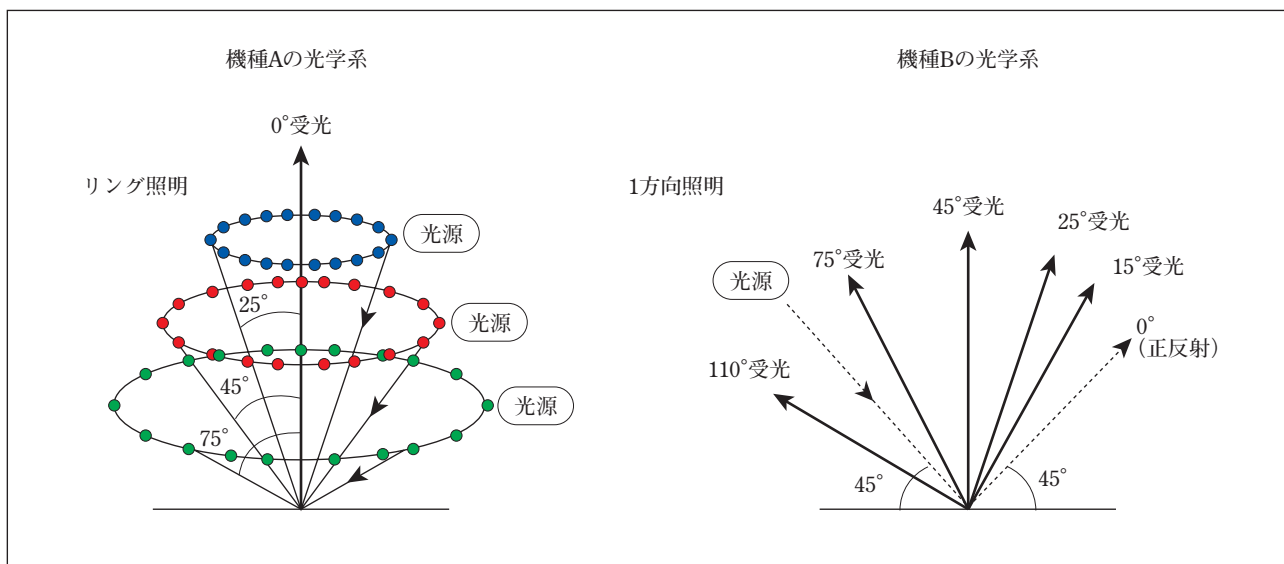


図 19 測色計の構造

シルバーメタリック色を含む高～低明度にわたる10塗色のメタリックカラー塗料を、緩やかな曲面形状のガソリンキャップと平板に塗装して10組のサンプルを得た。このサンプルを機種A、Bで、それぞれ測定する場所、方向を変えながら4回測定してL*a*b*の平均値を求めた。この平均値を個々のサンプルの測定値としたうえで、10組のガソリンキャップと平板の間の色差を求めた。10組のサンプルの色差の平均値を図21に示す。この色差が大きいほど、測定値が測定対

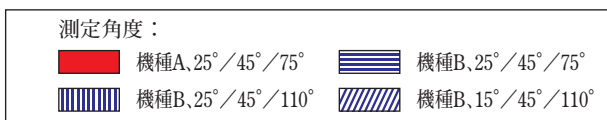
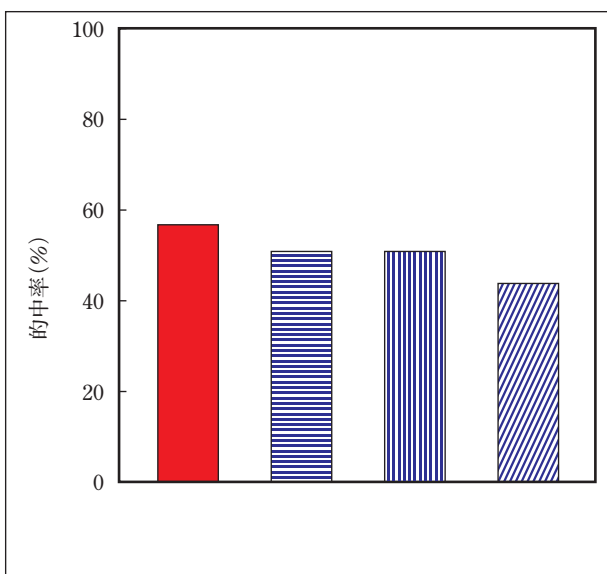


図20 検索結果的的中率

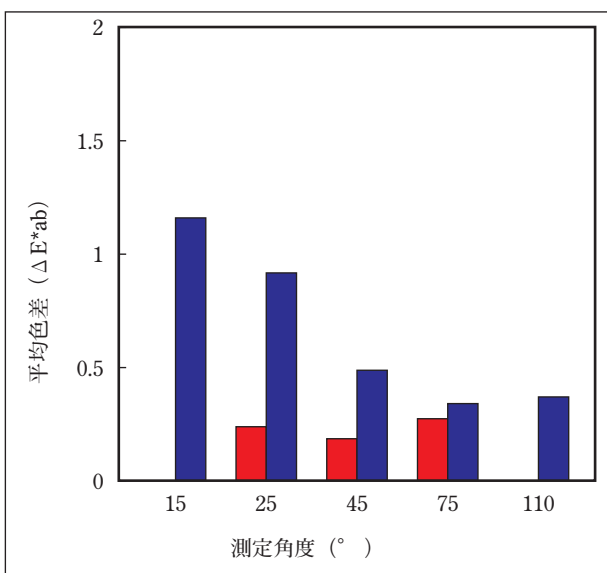


図21 10組のガソリンキャップと平板の色差の平均値

象物の形状の影響を受け易いと判断できる。角度では(15°)が最も影響を受け易く、同一角度では、リング構造の照明系を有する機種Aが単方向照明の機種Bに比して影響を受けにくい事が明確に裏付けられた。

6.1.4 的中率の向上

光輝性顔料を含む塗色におけるCCSの検索精度を向上するためには、人間の視知覚に対応するうえで、再現性と信頼性に優れた必要にして十分な多角度の測色データが前提となる事は明らかである。

さらに、最大の的中率を示した機種Aを前提に置いて、検索評価式1を改良する事での的中率の向上を試みた。

$$\text{検索評価式2} = a \cdot \Delta E^*1 + \Delta E^*2 + b \cdot \Delta E^*3 \quad (\text{式6.2})$$

ここで、a、bは重み付け係数である。重み付け係数a、bを実験データに基づいて最適化する事での的中率は8%の向上をみた。これを図22に示す。

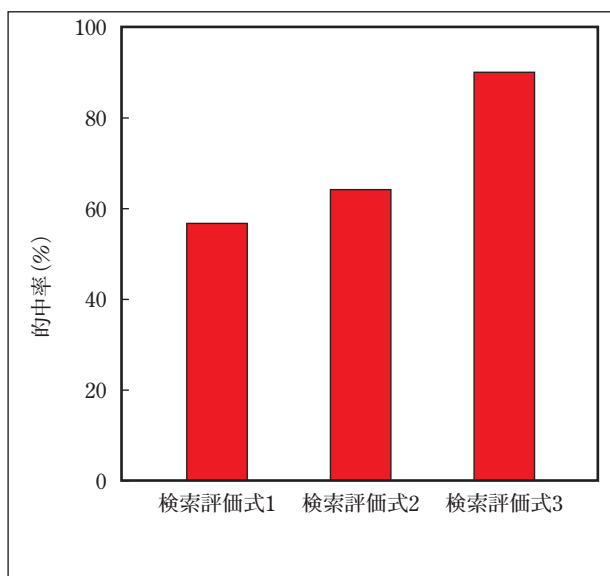


図22 検索評価式の改良による的的中率の向上
測色計：機種A

6.2 ミクロ光輝感パラメータを導入したCCS

機種Aに基づく検索評価式2に、ミクロ光輝感パラメータを導入してさらに的中率を向上させる検討を行った。

$$\text{検索評価式3} = a \cdot \Delta E^*1 + \Delta E^*2 + b \cdot \Delta E^*3 + p \cdot \Delta HG + q \cdot \Delta HB \quad (\text{式6.3})$$

ここで、ΔHG、ΔHBは見本とABI色票間のHG、HBの差の絶対値、p、qはミクロ光輝感パラメータに対する重み付け係数である。重み付け係数p、qを実験データに基づいて最適化する事での的中率は90%まで向上した。このように、多角度測

色計とマイクロ光輝感測定器を組み合わせたCCSによって、実用的にも高水準の近似色検索が可能である事を確認する事ができた。なお、検索評価式3にはHBL、SB等を加える等して、さらに的中率を向上させる課題が残されている。

7. CCM (Computer Color Matching) での利用

CCSにおける有効性を確かめる事のできたマイクロ光輝感パラメータは必然的にCCMへの利用も期待される。多角度の測色データに加えてマイクロ光輝感パラメータを有効に利用する事のできるCCMが実現すれば、塗料の設計業務で大きな比率を占める調色設計業務に大いに役立つ事が可能なのである。そこで、マイクロ光輝感パラメータのCCMへの利用可能性に関して検討した。

7.1 2種類の光輝性顔料の混合

マイクロ光輝感の異なるアルミ顔料3種(A、B、C)を選んだ。A、B、Cは「キラキラ感」、「粒子感」共に、 $A > B > C$ の順で、AとBの差よりはBとCの差がかなり大きい。アルミ顔料A、B、Cから2種類を抜き出した混合系を考え、混合比率を段階的に変化させた塗料を調査して塗装板を作成した。そのマイクロ光輝感を測定して混合比率に対する挙動を調べた。アルミ顔料A/Bの混合系を図23に、A/Cの混合系を図24に示す。A/B混合系では各マイクロ光輝感パラメータが、ほぼ直線的な挙動を示した。一方、A/C混合系では直線的な動きとはならなかった。

2種類の光輝性顔料の混合系におけるマイクロ光輝感パラメータを予測する上で、図23、図24は基礎的な知見を与えるものと考えられる。

7.2 光輝性顔料配合の予測

見本に対する光輝感を合わせるための光輝性顔料配合の予測方法に関して考えてみる。問題を単純にするために色は考慮しない。目標とすべき光輝感としてマクロ光輝感 FF (Flip Flop) 値<注c>に、マイクロ光輝感 HG 、 HB 、 HBL 、 SB に代表させる。ここで FF 値は多角度測色計で測定される (25°) の L^* と (75°) の L^* の比で表現する。

光輝性顔料の2種混合系における FF 値、 HG 、 HB 、 HBL 、 SB の予測式あるいは実測値の数表をコンピュータ上に築いておく事ができれば、図25に示す処理フローをコンピュータに課す事で、所望する光輝感を実現する事のできる2種混合系での光輝性顔料配合を得ることができる。

7.3 光輝性顔料と着色顔料の混合

マイクロ光輝感パラメータをCCMで利用するに際しては、光

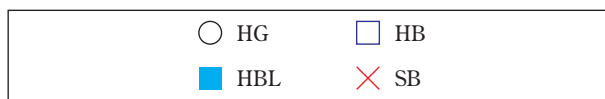
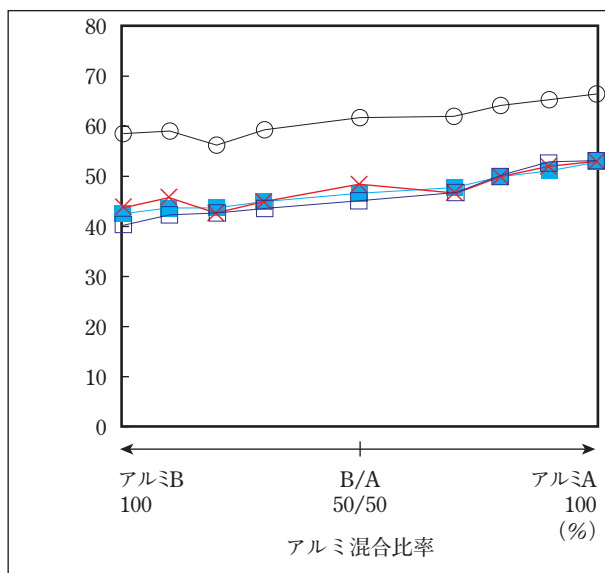


図23 アルミ顔料A/Bを混合したときの各マイクロ光輝感パラメータの挙動

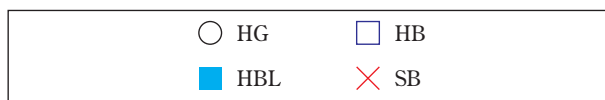
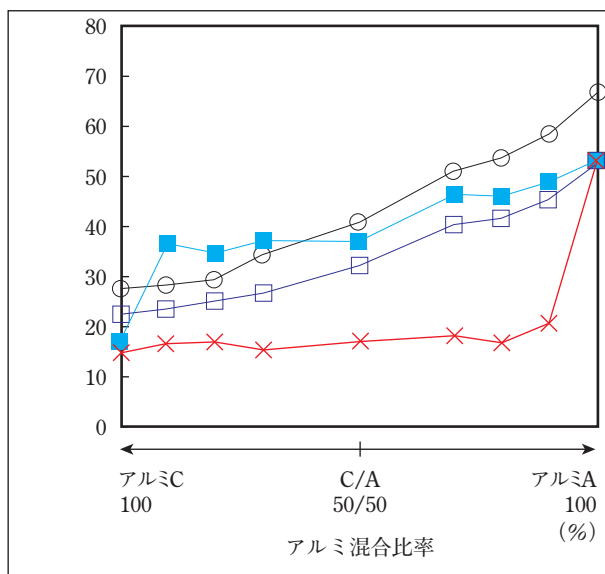


図24 アルミ顔料A/Cを混合したときの各マイクロ光輝感パラメータの挙動

輝性顔料と着色顔料の混合におけるマイクロ光輝感パラメータの挙動をも把握しておく必要がある。

光輝性顔料と着色顔料の混合系に対して、2種の光輝性顔料の混合系で行ったのと同様の塗装板を作成して、混合比率に対する HG 、 HB の挙動を調べた。図26に示す。混合比率に対して HG 、 HB は直線的な動きを示さず、着色顔料の種類が異なる事でもその挙動は異なる。

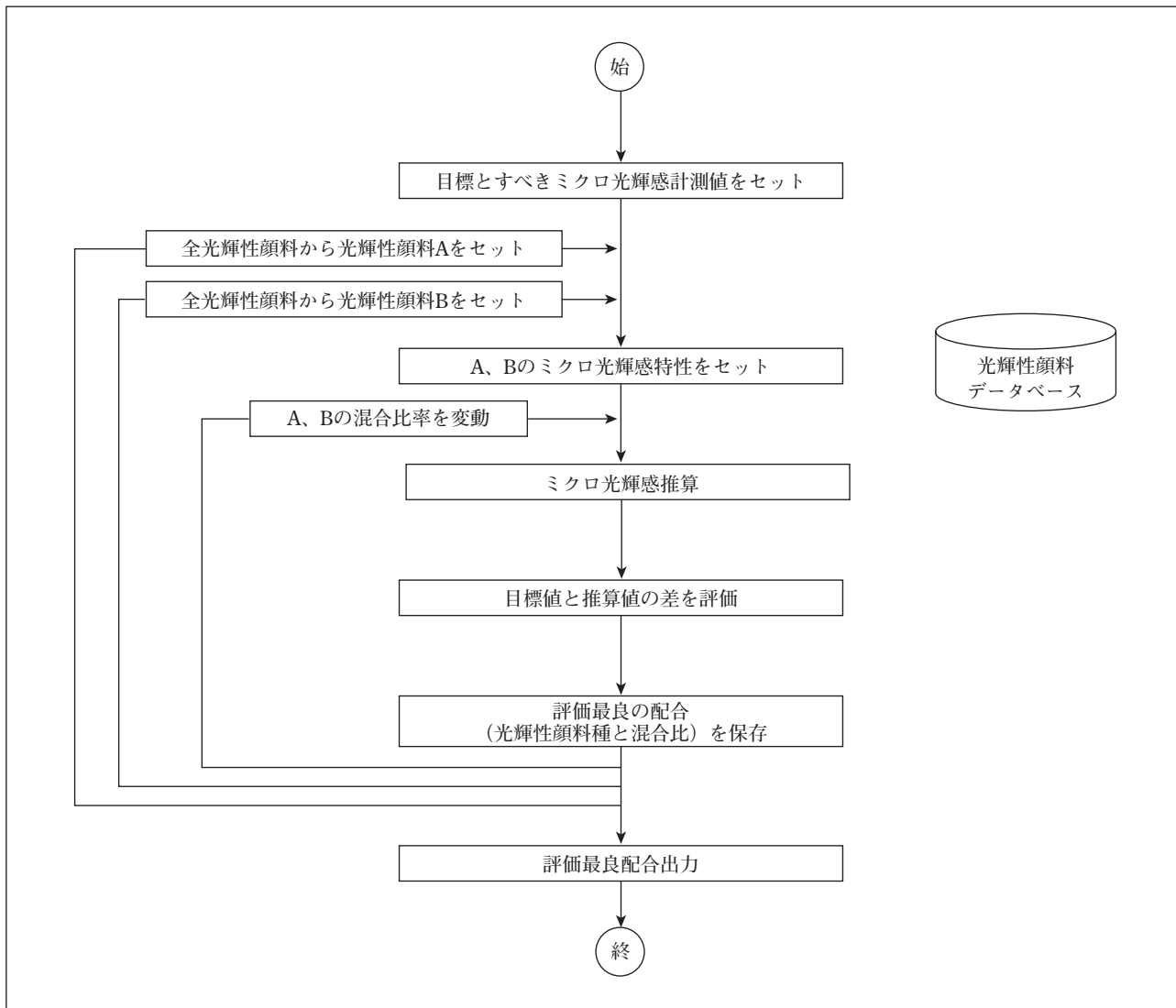


図 25 ミクロ光輝感パラメータを用いた光輝性顔料配合予測の処理フロー概念図

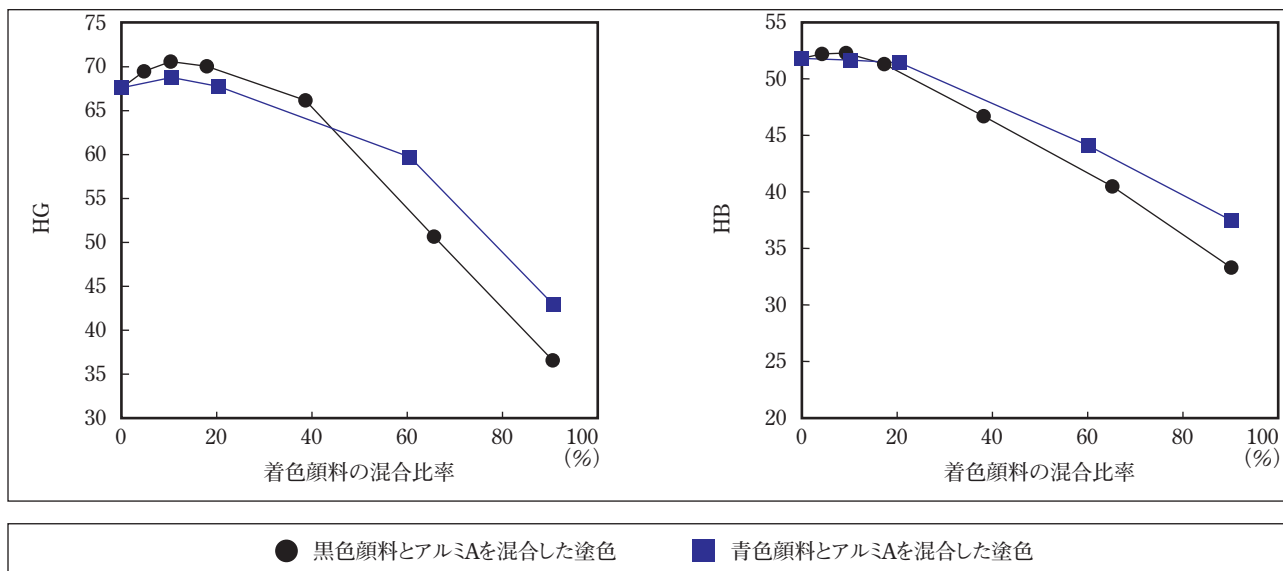


図 26 着色顔料とアルミAの混合系でのHG、HBの挙動

上：*着色顔料の混合比率 (%)とHGの関係

下：*着色顔料の混合比率 (%)とHBの関係

*着色顔料の混合比率 (%)

$$= 100 \times \text{着色顔料重量} / (\text{着色顔料重量} + \text{アルミA重量})$$

7.4 CCMへの利用可能性

最も単純な2種顔料の混合系におけるマイクロ光輝感パラメータを予測するうえでも克服すべき課題が多数ある事が確認された。2種顔料の混合系に基礎をおいたマイクロ光輝感予測技術を固めたうえで、任意の実用調色配合のマイクロ光輝感を予測できるようになると、現在は測色データにのみ基づいて動作するCCMに、新たにマイクロ光輝感パラメータをも加味した計算ロジックを付加することが出来るはずである。

8. まとめ

光輝性顔料を含む塗色に発現するマイクロ光輝感と関連する計測パラメータに関して検討した。CCDカメラを用いた画像計測装置に基づいて、「粒子感」、「キラキラ感」に概ね良好な相関を示す4つのマイクロ光輝感パラメータとしてHG (High-light Graininess)、HB (High-light Brilliance)、HBL (High-light Brilliance at Low-illuminance)、SB (Shade Brilliance)を導出した。また、これらのマイクロ光輝感パラメータを迅速に、且つ高精度に測定する事のできる専用の計測装置を作成した。さらに、多角度測色計とマイクロ光輝感測定装置を併用したCCS (Computer Color Search)、CCM (Computer Color Match)の効果と可能性に関して検討した。その結果、CCSでは多角度測色計のみを用いた場合に比して「カラー」の特定における精度を飛躍的に高められる事を確認した。

9. おわりに

光輝性顔料を含む塗色(本報ではこれを「カラー」と表記した)を必要十分な計測値によって捉える事を目的として、視知覚としてのマイクロ光輝感の特定、その定量化、計測、装置化と研究を進めてきた。次いで、実用上の場面を想定して、曲面状を呈する自動車ボディーを計測対象としたCCSに関して検討を加えた。その結果、近似色検索における的中率を通じて、3角度測色計(機種A)とマイクロ光輝感測定装置を併用する事で、本研究が狙いとしてきた自動車ボディーの「カラー」の特定に見通しを得る事ができたと考える。

人間の視知覚は対象物の比較、対比に対しては極めて高感度で高精度ではあるが、絶対値評価に対しては思いの外に低性能と指摘されている。また、対象物が自動車ボディーとなった場合、曲面の観察、しかもその観察の大半は、(車が動く、観察者が動くという意味において)静的観察ではなく動的なものとなる。自動車ボディーの「カラー」の特定を測定機器に代行させる為には、これら全ての要因を総合的に評価、判断して、冒頭触れた工学的に必要な計

測技術を目指す必要がある。一度、この計測技術が確立された暁には、「カラー」は無限である事を止め、デザインと工学の世界は固く親和融合するものと確信する。我々の研究は、これを目指している。

参考文献

- 1) 野村英治他:塗装と塗料、No.132, p.22(1999)
- 2) 日科技連官能検査委員会:新版官能検査ハンドブック、P684、(東京、日科技連出版社、1973)

【用語の注釈】

- a) ガソリンキャップ;自動車のパーツの1つ。給油口のカバーで比較的容易に自動車ボディーから取り外せる。外面は自動車ボディーと同一の塗装がされている。
- b) ABI色票;正式な商品名は、Alesco Auto Bodycolors Information。1993年以降に販売された自動車の外板塗色を対象にした色見本帳。色票の裏に当社が販売する自動車補修塗料の調色配合が印刷されている。1つの色コードに対して、多い場合は10種類以上の僅かに色の異なる色票を揃えている。国産車、輸入車を含めて、現在、7190色の色票から構成されている。
- c) FF (Flip Flop) 値;光輝性顔料を含む塗色を観察すると、同一塗色でありながらソリッドカラーとは異なって、「正面」条件と「スカシ」条件で大きな明度差、塗色によっては色相差等が発現する。この現象をFFと称している。このFFの大きさを指標化したのがFF値となる。