

「マイクロ光輝感の 官能評価と画像計測」

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



技術研究所
第4部
野村英治
Eiji
NOMURA



技術研究所
第4部
平山徹
Toru
HIRAYAMA

Summary

“ Micro-brilliance, ” an appearance which is reproduced by color coatings containing light reflecting pigment such as aluminum or mica flake, was studied.

Test panels with microbrilliances were visually checked and in addition, metered on an apparatus mainly made up of a CCD camera for the appearance.

Results including the digital image data on the apparatus reveals certain meaningful parameters, which significantly affects the appearance, as shown below.

- 1) The microbrilliance is broken down to two important effects, “ glitter ” and “ mottle ”.
- 2) The former is referred to strong/weak, large/small in size, hard/soft and more/less; consisting of complicated factors. Amid them the strong/weak or large/small in size is probably an independent factor of one dimensional measure.
- 3) The former is approximately handled with an image measurement parameter BV, while the latter with an image measurement parameter IPSL .

要 旨

アルミ、マイカ等の光輝性顔料を含む塗色に発現する固有の質感として「マイクロ光輝感」に着目した。マイクロ光輝感を示す様々な塗板に対して目視評価を行い、その塗板をデジタルカメラで撮像して得られた画像データから、マイクロ光輝感に対応すると思われるパラメータを導出した。結果をまとめると、

- 1) ミクロ光輝感は、「粒子感」、「キラキラ感」という2つの主要な知覚に統合できる。
- 2) 「キラキラ感」に関しては、強い／弱い、粒の大きい／小さい、硬質な(ハードな)／ソフトな、多い／少ない等の複数の構成因子が存在し、強い／弱い、粒の大きい／小さいは一次元尺度化の可能な独立因子である可能性が高い。
- 3) 「粒子感」に概ね相関を示す画像計測パラメータIPSLを導出した。
- 4) 「キラキラ感」に概ね相関を示す画像計測パラメータBVを導出した。

1. はじめに

今日、新しいカラーはどのようにして新しいカラーとして世に認定され得るのだろうか。素朴な解釈では、この世に現出している全てのカラーと見比べた結果、どのカラーとも異なると万人が認めたととき、そのカラーは初めて新規なカラーとして認定されることになる。カラーが、計測方法に裏付けられた定量値として把握できない間は、この不可能ともいえる手間のかかる方法以外に、原理的に確実な認定方法は存在しない。

ここまで、敢えて「色」ではなく「カラー」という用語を用いてきた。これは、今日の自動車外板塗色は、様々な光輝性顔料を駆使してデザインされるようになってきたため、従来からあるソリッドカラーとは異なる特徴ある質感を発現する場

合が多く、この質感をも含めた総称として、本報では明示的に「カラー」とした。無限とも思われる膨大なカラーを合理的に整頓する事は工学的に意義深く、その手掛かりは、官能尺度に裏打ちされた多次元空間上の一点としてカラーを特定する事によって実現される。

光輝性顔料を含む塗色を比較的遠距離から眺めると、照明と観察角度の加減で色(明度、彩度、色相)が変化する「フリップ・フロップ」と呼ばれる現象が認められる。接近して観察すると、二次元的な輝度の不均一、例えばキラキラと光り輝く現象が認められる。これら光輝性顔料を含む塗色が観察者に与える固有の感覚を「質感」と総称した場合、巨視的な観察で知覚される質感と、微視的な観察で知覚される明らかに異なる質感が存在する。我々は、塗膜中の光輝性顔料によって発現する前者の巨視的な質感をマクロ光輝感、後者をミクロ光輝感とした。マクロ光輝感に対しては、変角分光々度計、多角度色彩計、レーザー光を用いた測定機器等による多くの研究結果が報告されている¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。

一方、ミクロ光輝感に関しては、様々な意匠性用語での表現がなされてきてはいるが、定量化、尺度化を目指した測定方法の研究に関する報告は少ない⁵⁾。そこで、本研究は、光輝性顔料を含むカラーを特定するに必要な多次元空間を構成する尺度としてのミクロ光輝感を究明することを目的とした。

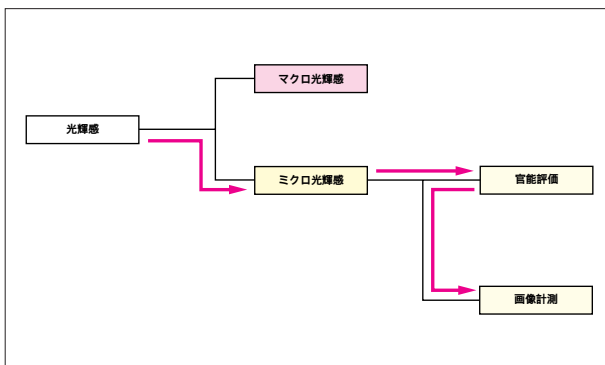


図1 ミクロ光輝感の研究の進め方概念図

本研究は、図1に示すように、官能評価実験に基づいてミクロ光輝感を構成する知覚因子を明確にする研究段階と、ミクロ光輝感に対応する計測パラメータを画像計測する研究段階の2つのステップを踏んだ。記述は、この流れに従っている。

2. 官能評価実験の方法

2.1 試料塗板の選定

ミクロ光輝感に関する官能評価実験を行うに際して、目的別に6つ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

2つの観察条件を用意した。

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、試料塗板からおおよそ30cm前後の距離をおいて塗板を手に持って自由観察させた。試料塗板上の照度は約3000ルクスであった。

b. 観察条件②

太陽光を用いた。11時~14時の時間帯に限定して、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て、試料塗板からおおよそ30cm前後の距離をおいて塗板を手に持って自由観察させた。試料塗板上の照度は約120000ルクスであった。

2.3 教示および実験内容

2つの教示パターンを使い分けた。

a. 教示パターン①

「感感を」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」ここで感感感はミ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)

表1 官能実験に用いた試料塗板

塗色グループ	明度域	枚数	塗色名
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	9	101~109
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	9	201~209
塗色グループ と を混在した塗色	中~高明度	18	101~109 201~209
1種類の光輝性顔料を使用したブルー系塗色 アルミ(401,404,406)、マイカ(403,407,408)、板状酸化鉄(405)、MIO(402)	低~中明度	8	401~408
1、2種類の光輝性顔料を使用した実用塗色 マイカ(501~506)、アルミ/マイカ(507~508)	低明度	8	501~508
1、2種類の光輝性顔料を使用した実用塗色 アルミ(601,604)、マイカ(603,606)、アルミ/マイカ(602,605)	低~高明度	6	601~606

b. 教示パターン②

「の因子をできるだけ無視して、の順番に試料を並べよ」(ここで、はマイクロ光輝感を構成する知覚用語が入る)

2.4 パネル

色覚正常な年齢25才～50才の男女6名をパネルとした。内、3名はカラーデザイナーであった。

3. ミクロ光輝感を構成する因子

3.1 形容詞句の抽出

マイクロ光輝感を構成する因子を明らかにするために、カラーデザイナー10名に光輝感に関する形容詞句、デザイン用語を挙げてもらった。その用語を、マイクロ光輝感とマクロ光輝感に分類した。結果を図2に示す。この中で「深み感」について服部らは、巨視的な見えと微視的な見えの2つの因子から構成されるとしている⁶⁾が、本報では、マクロ光輝感に分類した。そもそも「深み感」は、光輝感というカテゴリーに包含しにくい知覚と思われる。

3.2 「粒子感」と「キラキラ感」への統合

マイクロ光輝感に関して集めた用語を分類し統合した結果、「粒子感」と「キラキラ感」の2つの語句に統合し得ると判断した。ただし、用語の一部は、「粒子感」と「キラキラ感」の両者にまたがるものもある。また、そもそもマイクロ光輝感自体は、あくまでも「感じ」であって、語句では表現し得ない要素

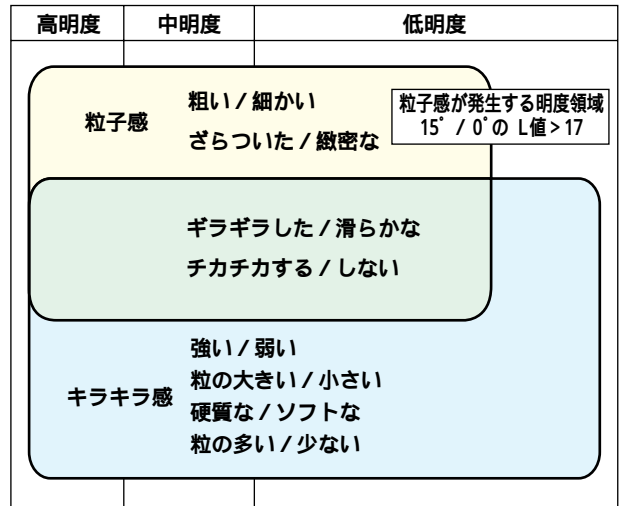


図3 ミクロ光輝感を表す用語の統合を示す概念図

の残ることは否めないことにも言及しておかねばならないだろう。結果を図3に示す。

まず「粒子感」であるが、「できるだけキラキラ感が発現しにくい照明条件下において試料を観察したときに、試料塗膜中の光輝性顔料の配向・重なりで起きる不規則・無方向性の模様(ランダムパターン)から発する知覚」と定義した。構成因子としては、粗い / 細かい、ざらついた / 緻密な、キラキラした / なめらかな等が挙げられる。

「キラキラ感」は、「塗膜中の光輝性顔料から正反射された光によって生じる不規則で微細な輝きの知覚」と定義した。試料面上の輝度分布において、輝度のピーク(周囲から急速に立ち上がった山状の輝度分布)の平均的な形状

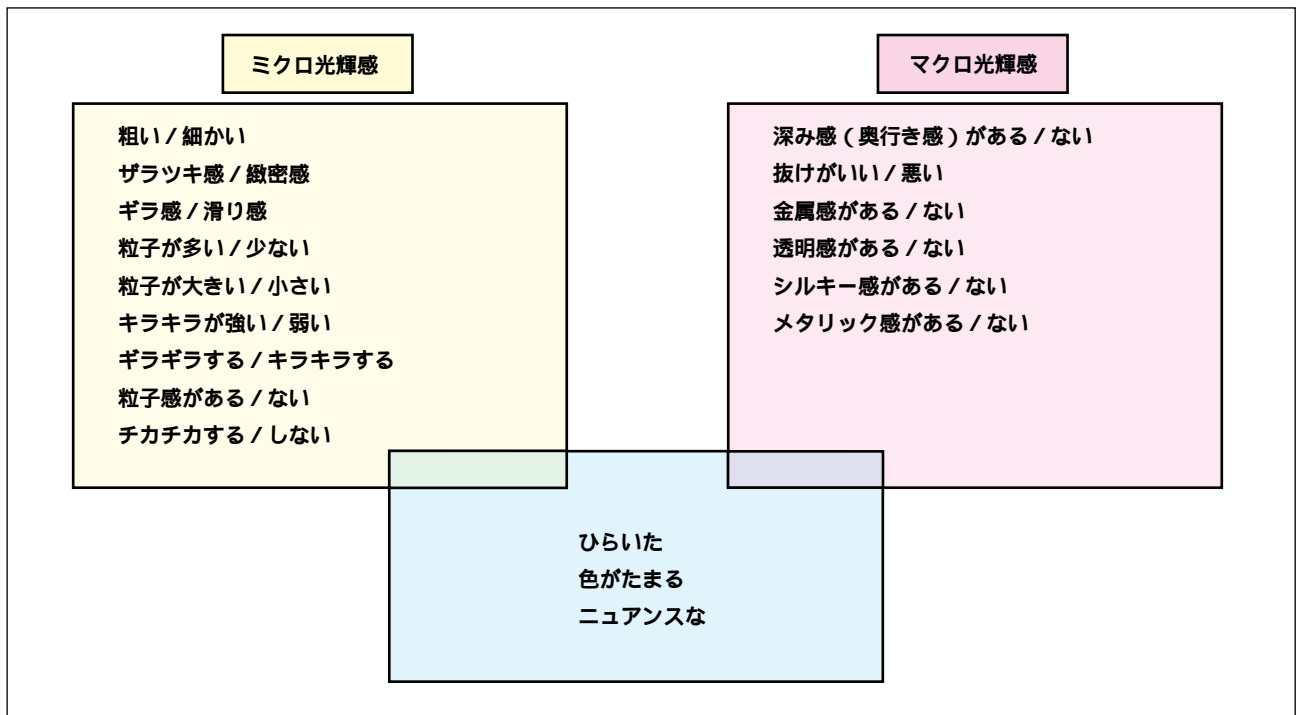


図2 光輝感に関する形容詞句、デザイン用語の分類

に密接に結びついていると思われる。したがって、「キラキラ感」の構成因子としては、強い / 弱い、粒の大きい / 小さい、硬質な (ハードな) / ソフトな、粒の多い / 少ない等が挙げられると考えた。

3.3 「粒子感」に関する官能評価

「粒子感」の構成因子として、粗い / 細かい、ざらついた / 緻密な、ギラギラした / なめらかな、の3つが挙げられている。この3つの因子は、相互に関連性、従属性が強く、このため、因子分解せずとも、「粒子感」そのものが単独の知覚として一次元尺度で説明できる可能性があると考えた。これを確認するために、塗色グループ①～④を用いて観察条件①で官能評価を行った。このとき、教示パターン①に従って、先の「粒子感」に対する定義を述べ、さらに、粗い / 細かい、ざらついた / 緻密な、ギラギラした / なめらかな等が構成因子として挙げられるが、これらの因子の総合的な知覚として「粒子感」の大小 (多少) の順番に試料塗板を並べるよう教示した。評価に当たっては、合成標準法⁷⁾を用いて尺度化を行った。

合成標準法は、複数のパネルの順位付けデータに生じるバラツキを統計的に処理して間隔尺度に変換する数値処理法である。図5は合成標準法の一例を示している。図中、横軸は順位付けデータのバラツキに基づいて正規分布表から導かれた各資料の刺激の尺度値を示す。最小値は0、最大値は100となる。縦軸はパネルの順位付けのバラツキを標準偏差で示しており、縦軸が長いほどバラツキが大きいことを示す。なお、これ以後の評価にはすべて合成標準法を用いて尺度化を行った。

塗色グループ①・②についてはパネル全員が完全に一致した順位結果であった(図4)。塗色グループ③について

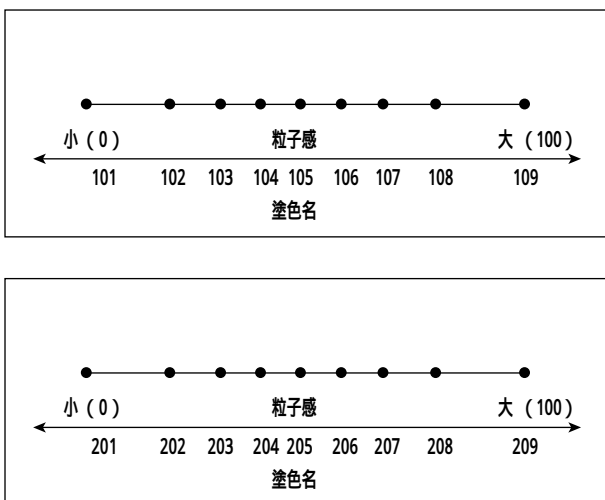


図4 塗色グループ (上) (下)の「粒子感」の順位付け官能評価結果

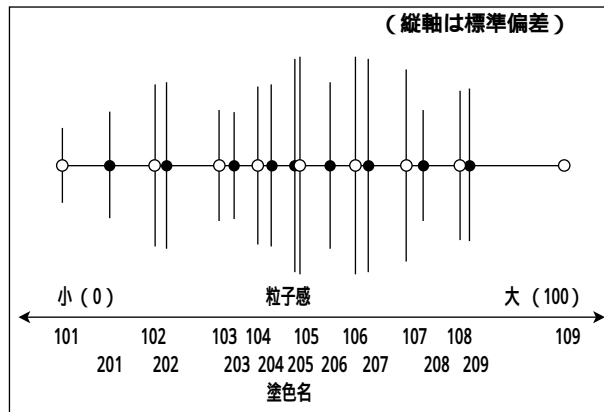


図5 塗色グループの「粒子感」の順位付け官能評価結果 : シルバーメタリック、 : ブルーメタリック

は塗色グループ①、②のそれぞれの順位が概ね交互になり、且つ順位の一貫性はやや劣る結果となった(図5)。塗色グループ④は「粒子感」尺度が高い領域で順位に差が見られず、塗色401、403、404が一塊りとなる結果となった(図6)。

概して、試料間の光輝性顔料種、濃度に大きな差のある場合は判断にゆらぎが生じやすく、パネル間での判断差が増大する傾向が認められるが、「粒子感」は一次元の尺度で評価することができるかと判断した。

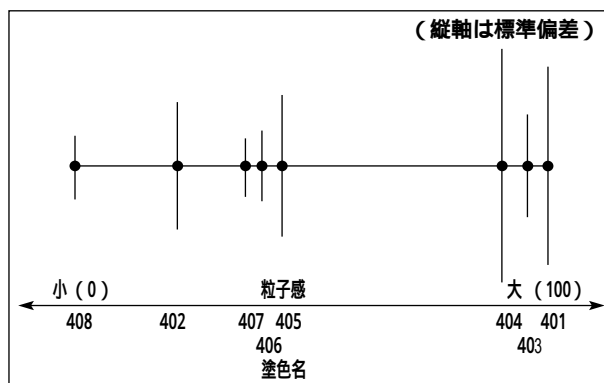


図6 塗色グループの「粒子感」の順位付け官能評価結果

3.4 「キラキラ感」に関する官能評価

「キラキラ感」の構成因子として、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つが挙げられる。これらの4つの因子は、相互に独立性が高いと予想されたが、まず、「キラキラ感」という知覚が一次元尺度として成立し得るかどうかについて官能評価を行った。

塗色グループ①・②・④を用いて、観察条件①で官能評価を行った。「キラキラ感」に対する教示パターン①を用い、さらに、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、等が構成因子として挙げられるが、これらの因子の総合的な知覚として「キラキラ感」の大小 (多少) の順番に試料塗板を並べるよう教示した。

塗色グループ①、②についてはパネル全員が一致した順

位結果となった(図7)。塗色グループ④については塗色402が大きなバラツキを示したが、概ね一致した順位結果を示した(図8)。

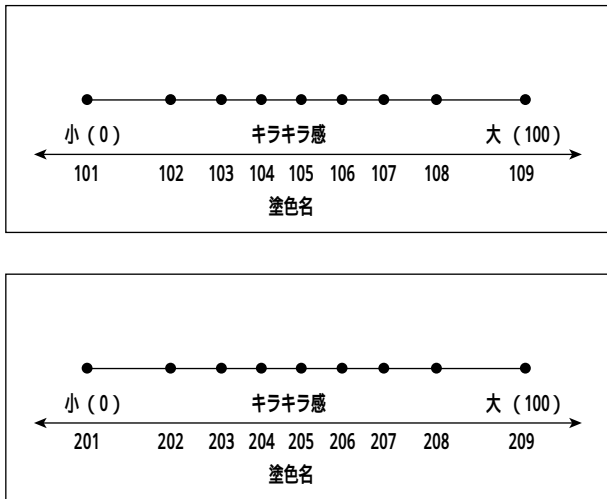


図7 塗色グループ(上)(下)の「キラキラ感」の順位付け官能評価結果

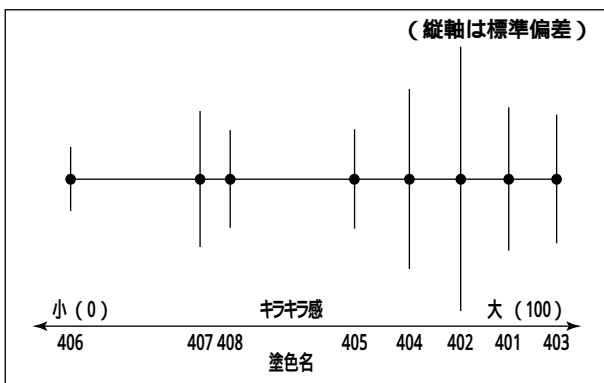


図8 塗色グループの「キラキラ感」の順位付け官能評価結果

「粒子感」と同様に試料間の光輝性顔料種、濃度に大きな差のある場合は、判断が変動する傾向が認められるが、「キラキラ感」も一次元の尺度で評価することができる判断した。

次いで、「キラキラ感」に関する4つの因子、強い/弱い、粒の大きい/小さい、硬質な/ソフトな、粒の多い/少ないに対して、因子としての独立性を調べる以下の官能評価を行った。教示パターン②、観察条件①を用い、「キラキラ感」の順位付けでバラツキが見られた塗色グループ④を試料とした。

a. 強い/弱い

「キラキラ感」が弱い領域でバラツキが生じたが、ほぼパネル間で一致した順位結果となった(図9)。このことから強い/弱い因子は、独立して確かに存在すると判断した。

b. 粒の大きい/小さい

粒の大きい領域でバラツキが生じたが、粒の小さい領域

ではバラツキは小さく、パネル間で一致した結果を示した(図10)。このことから、粒の大きい/小さいの因子は独立して存在すると判断した。

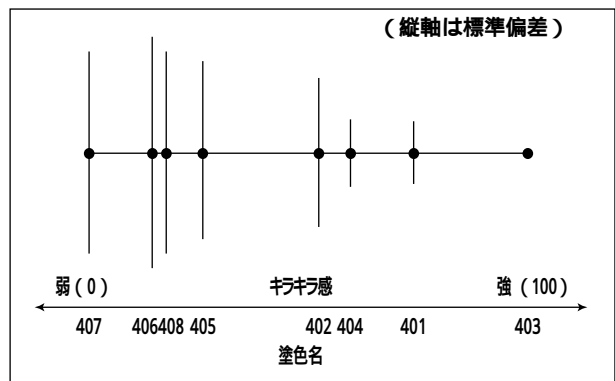


図9 塗色グループの「キラキラ感」の強い/弱い順位付け官能評価結果

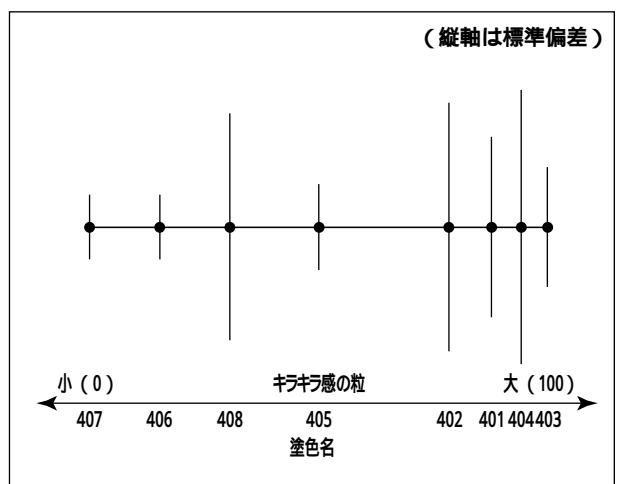


図10 塗色グループの「キラキラ感」の粒の大きい/小さいの順位付け官能評価結果

c. 硬質な/ソフトな

MIOを用いた塗色402は、明らかに硬質な「キラキラ感」を、また、干渉マイカを用いた塗色408は、ソフトな「キラキラ感」をパネル全員に与えることが確認される一方、中間的な領域ではバラツキの大きな結果となった。これは、強い/弱い、粒の大きい/小さい等の因子と、硬質な/ソフトなの知覚上の分離が難しいためと推測した。

d. 粒の多い/少ない

バラツキが大きく、強いて言えば粒の多いグループと少ないグループに二極化する結果となった。粒の多いグループ内では順位判別ができず、粒の少ないグループ内でも同じ結果であった。これは粒の密度が増えて一定量に達すると、「キラキラ感」の強い/弱い等の因子との分離が難しくなり順位付けが不安定になるためと推測した。硬質な/ソフトな、と同様に不明瞭な因子と考えられる。

以上の結果をまとめると、「キラキラ感」を構成する主要な因子は、強い / 弱い、粒の大きい / 小さいの2つである。ただし、不明瞭ながらも、硬質な / ソフトな、粒の多い / 少ない等の因子は存在する。

3.5 「粒子感」が消失するカラー領域

「キラキラ感」に関しては、その量・質を問わなければ、光輝性顔料を含む全塗色に共通して発現する知覚といえる。一方、「粒子感」は、複数のパネルから、塗膜中の光輝性顔料の濃度が低いと「粒子感」そのものが全く感じられないとの報告を受けた。本報における「粒子感」の定義は不規則な輝度分布に由来する模様知覚であり、極端に光輝性顔料の濃度が低下して一粒一粒の光輝性顔料が島状に孤立して分布するようになると、模様としての知覚が生じなくなると考えられる。「粒子感」の消失する臨界点を、官能実験により確かめた。

低明度の塗色グループ⑤を用いて、観察条件①によって、パネル4人で「粒子感」の感じられない試料を選定させた。その結果、判断が分かれた試料塗色に着目すると、明度がほぼ一致していて、15°/0°の角度条件で測定して得られたL*値が約17以下の低明度である事が確認できた(図11)。

3.6 照明の影響

人工灯で照明された室内と、太陽光直下の屋外では、光輝性顔料を含む塗色から知覚されるマイクロ光輝感が、大きく変動すると指摘されている。そこで、この事を確認する目的で、以下の簡単な実験を行った。

パネル6名に、各種の光輝性顔料を含む塗色グループ④を用いて、教示パターン②により、「キラキラ感」の強 / 弱の順番に並べるよう教示した。この実験を観察条件①の人工太陽灯と、観察条件②の太陽光の2つの条件で行った。結果を図12に示す。

太陽光の方がパネル間でのバラツキが大きく、「キラキラ感」が強いグループと弱いグループに二極化する結果となった。パネルの感想としても、「キラキラ感」が強いグループ弱いグループともに、グループ内の試料間に知覚上の差が小さく、順位付けがしにくいとの事であった。

一方、人工太陽灯での結果は、パネル間のバラツキが比較的小さく、二極化の傾向も認められなかった。

両結果を見比べると、太陽光で「キラキラ感」の強いグループが一塊りになるのは、太陽の強烈な照度によって、知覚の飽和が生じていると考えられる。また、塗色407に注目すると、断定はしにくいものの、太陽光直下と人工太陽灯下で順

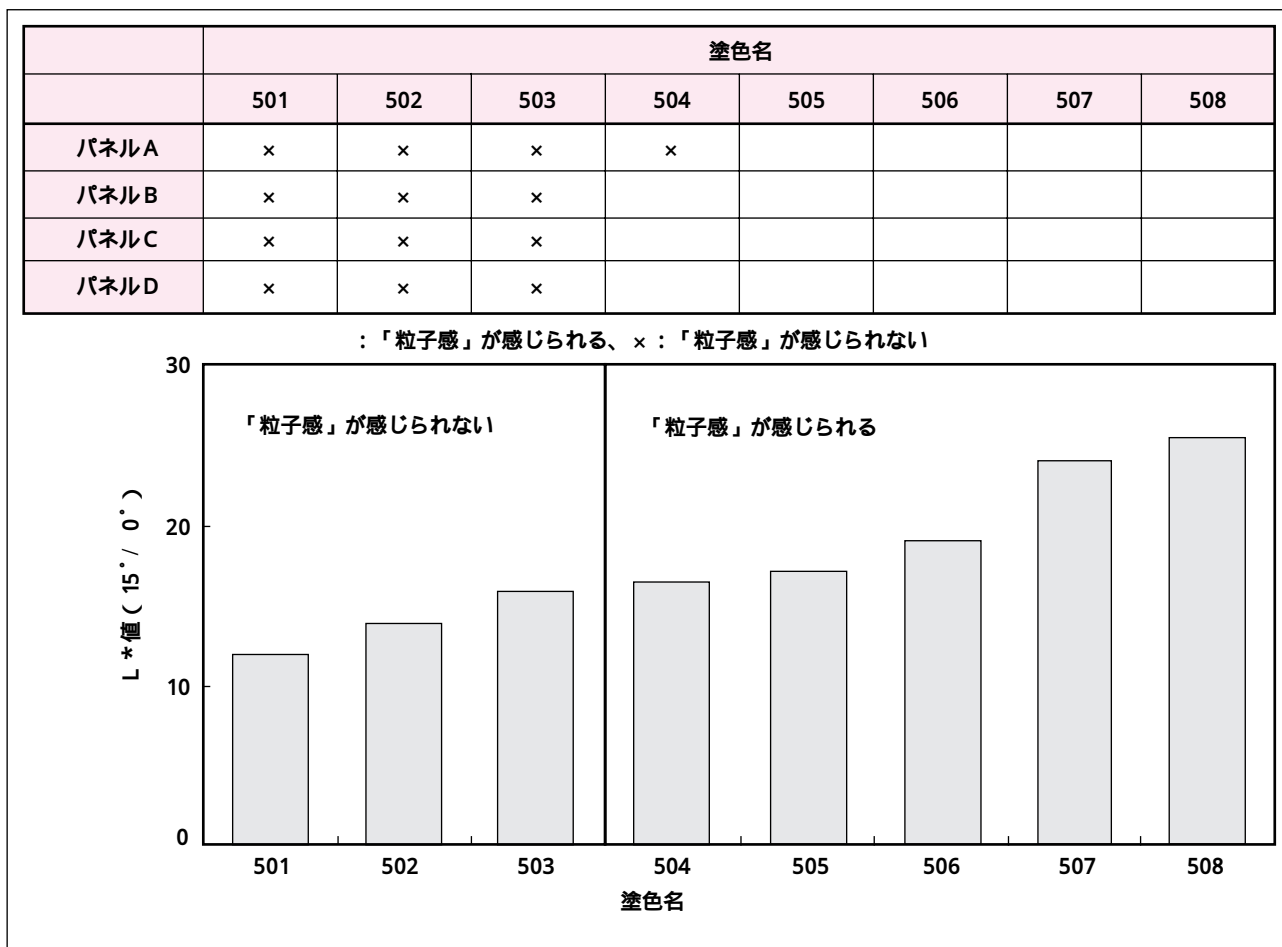


図11 「粒子感」が消失するカラー領域を把握する実験結果

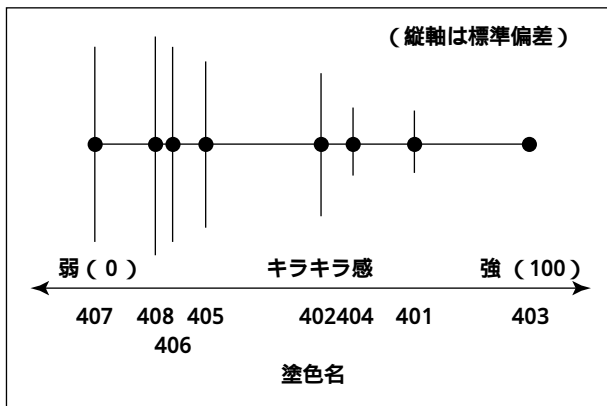
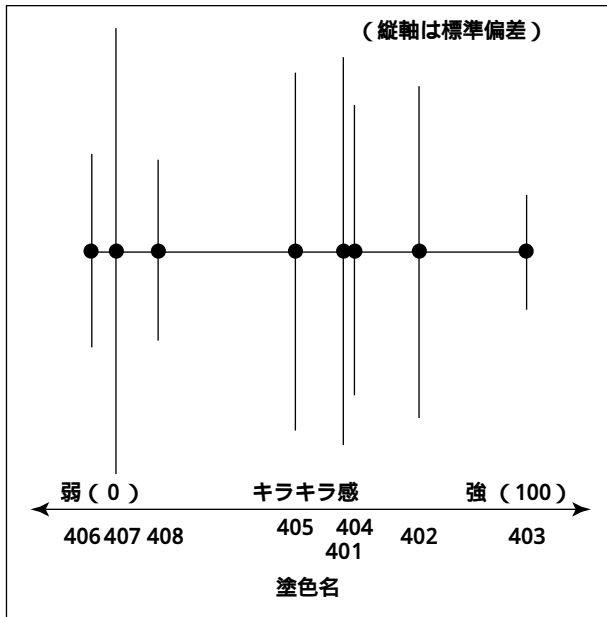


図12 「キラキラ感」の強い/弱い順位付け官能評価結果：
上は観察条件（太陽光）、下は観察条件（人工太陽灯）、
塗色グループを使用

位が入れ替わっていると解釈できなくもない。

以上のことから照明条件が大きく異なる場合、マイクロ光輝感(この実験では「キラキラ感」の強い/弱い)は、順位の入れ替わり先含めて変動する可能性のある事が確認された。

4. ミクロ光輝感の画像計測

4.1 画像計測装置

CCDカメラはミノルタ(株)のRD-175にAFマクロ100mmF2.8レンズを取り付けたものを用いた。照明には先端に集光レンズを取り付けた光ファイバー式のハロゲンランプを用いた。CCDカメラで撮像した電子画像データをコンピュータに送って処理した。コンピュータ上で原画像データを512×512画素(約26万画素)のモノクロ256階調(黒を0、白を255)のデジタル画像データに切り出したうえで、画像解析ソフトを用いてデジタル処理した。CCDカメラは試料に対し垂直に取り付け、照明の角度を変えることで入射角/受光角を変化させて撮像した。撮像装置を図13に示す。

取り扱う画像はモノクロ画像とした。これは、本報においては、マイクロ光輝感を形成する外部刺激情報として、塗膜中の光輝性顔料等からの反射光に起因する輝度分布情報が支配的であり、色彩情報は無視し得るとの仮説を立てた事によっている。実際には、光輝性顔料を含む塗膜を近くから観察すると多彩な干渉色を認める事ができる。したがって、マイクロ光輝感を計測するに当たって、色彩情報を排除し得るかどうかに関して筆者らは改めて検討が必要と考えている。

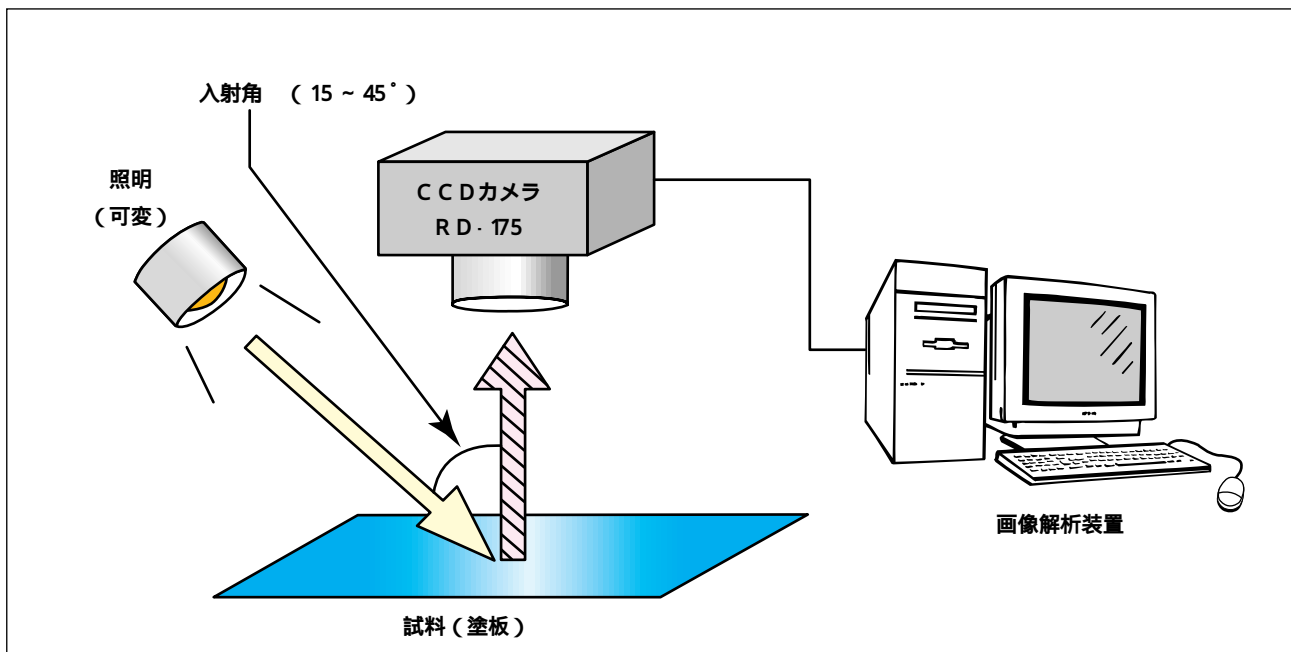


図13 撮像装置図

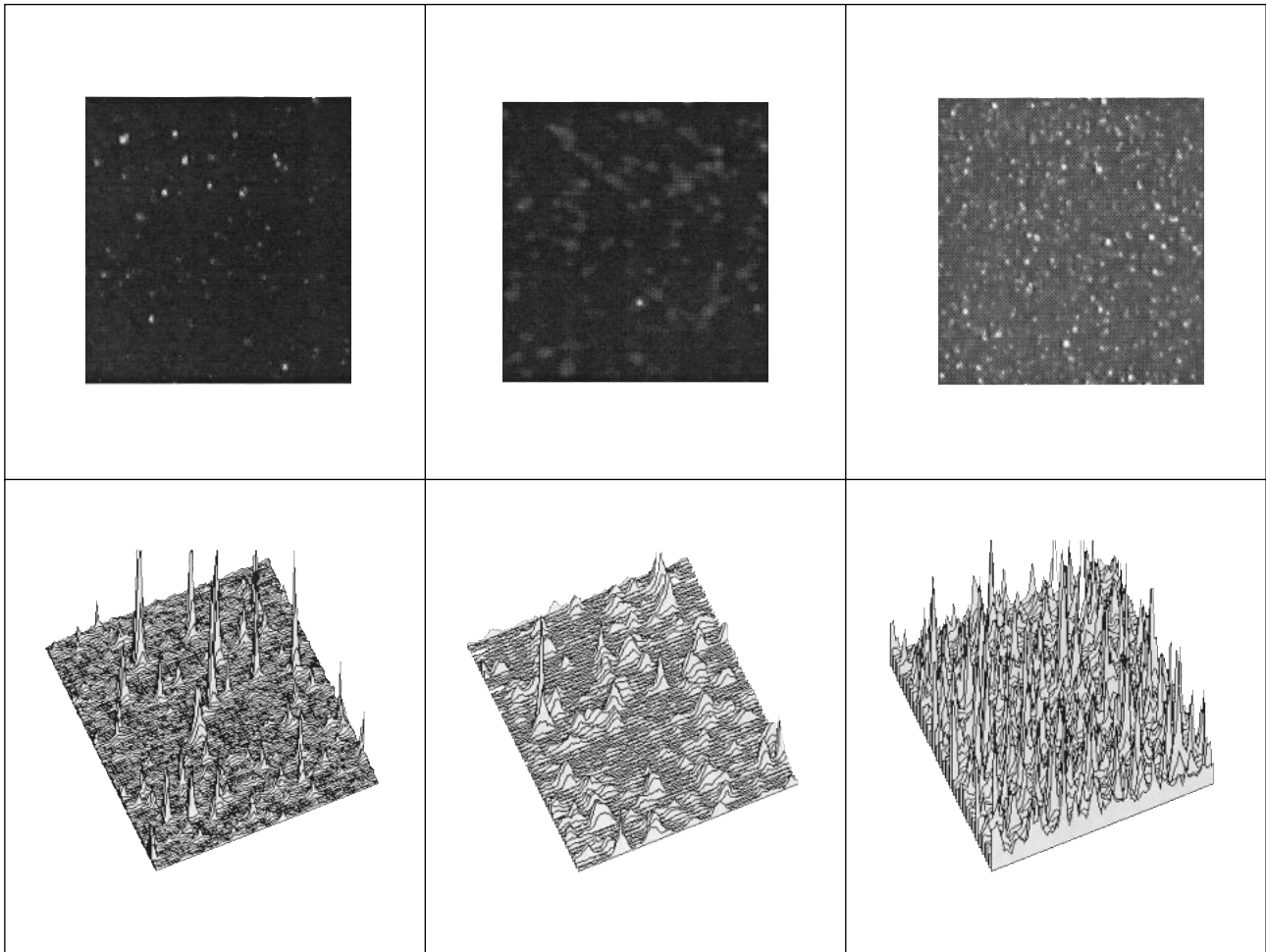


図14 試料塗板の電子画像データの鳥瞰図：塗色 601(左)、603(中)、604(右)

装置を用いて得られたデジタル画像データの例を図14に示した。

4.2 撮像条件

4.2.1 撮像倍率の設定

目視観察の状態を電子画像に反映させる場合、「人が見ているのと同じように撮る」のが最適であり、視覚系に対応する倍率と解像度で撮影することが重要であると考えた。マイクロ光輝感を評価する場合、明視の距離(25cm)での観察が妥当と思われる。実際にこの距離は、塗板を微視的に観察するときの観察距離と概ね一致している。そこで明視の距離において、目の解像度が最も高いとされる 2° 視野の条件で試料を観察する状態を想定した。この時、試料面上では直径約10mmの大きさを観察している事になり、網膜上では約3万8千個の視細胞(錐体)で画像情報を取り込んでいる⁸⁾。本報では、この観察状態を基本において、視細胞1個に対して、CCDセル6~7個を割り当てる設定で撮像を行った。即ち、 512×512 画素の正方形画像(約26万画素)に、試料面上の $0.81\text{cm} \times 0.81\text{cm}$ が撮像できるように条件設定した(図15)。

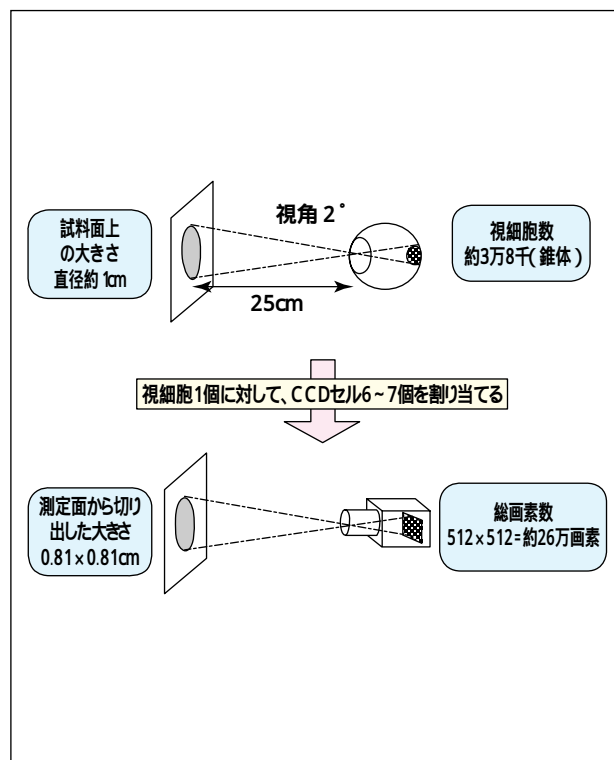


図15 撮像倍率の設定を示す概念図

4.2.2 入射 / 受光角度の設定

水平に固定した試料を、垂直直下方式でCCDカメラによる撮像を行った。その時の垂線を0度として、入射光を15、30、45度の角度に変えて撮像を行った。

4.2.3 露出の設定

視覚系の輝度に対する総合的なダイナミックレンジ特性に比べて、CCDカメラのそれはかなり劣っている。CCDカメラで輝度差のある被写体を撮影したとき、暗い部分に露出を合わせると、明るい部分で輝度情報の飽和が起こり白ボケた画像となる。明るい部分に露出を合わせると、暗い部分は露光不足で黒くつぶれた画像となる。マイクロ光輝感に対応するパラメータを導出するに当たって、ダイナミックレンジ特性の劣るCCDカメラで、高光度の塗色から低光度の塗色まで幅広

く、同一の露光条件で撮像できないかを探った。露出量の校正には鏡面白磁板を用いた。鏡面白磁板を撮影し、そのデジタル画像の平均グレーレベル(以後GL)が35~155となるように、露光量(シャッター速度とレンズの絞り)を調節してから試料塗板を撮影するようにした。試料塗板として、明度域が幅広い塗色グループ③を用いた。これらの試料のデジタル画像から、後述する計測パラメータIPSLを算出し、官能実験に基づくマイクロ光輝感順位と最も順位相関の高まる露出条件を最適露光条件とした。結果として、鏡面白磁板のGLが62のとき、相関係数0.96の高いレベルでの最良値を示したため、この露光量校正条件を採用するとともに、明度の異なる試料に幅広く同一の露光条件が適用可能なことを確認することとなった(図16)。

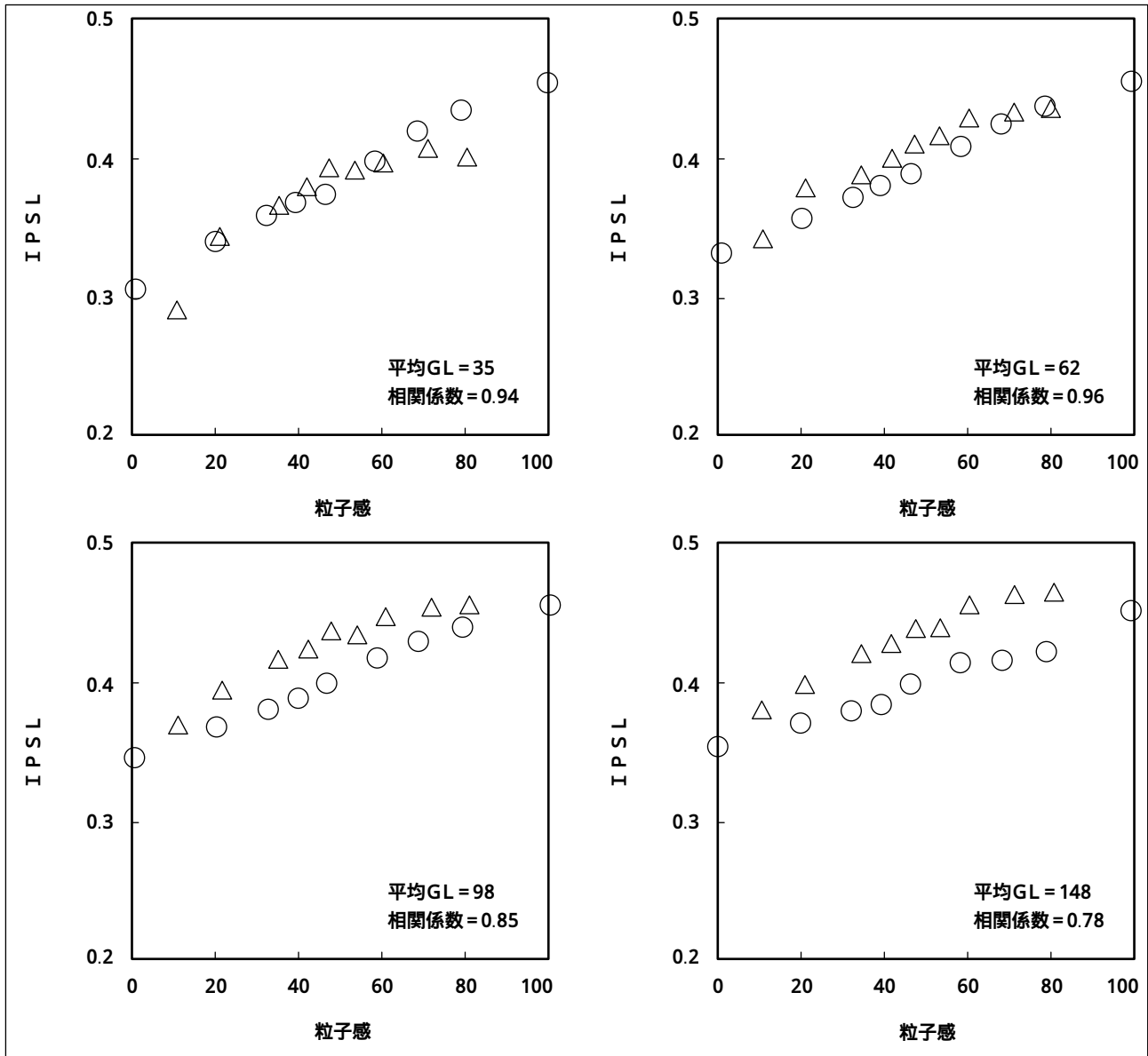


図16 露出条件の違いによる塗色グループの「粒子感」とIPSLの関係
 入射角 / 受光角 = 15° / 0°
 ○ : シルバーメタリック、△ : ブルーメタリック

5. 計測パラメータの導出

5.1 「粒子感」に関するパラメータの導出

5.1.1 低空間周波数パワースペクトル積分値 (IPSL)

観察者が、光輝性顔料の配向・重なりで起きる不規則・無方向性の模様(ランダムパターン)の中に、粗い/細かい等の知覚を得ているのは、網膜上に投影された試料塗板の像の中から、何らかの規則性、つまりテクスチャーを感じ取っていると考えられる。そこで、本報では光輝性顔料を含む試料塗板のデジタル画像データから「粒子感」に対応するテクスチャー特徴を導出することを目指した。種々のパラメータを検討する中で、最終的に以下のIPSL(Integration of Power Spectrum of Low frequencyの略)と命名したパラメータに着目する事となった。IPSLは、デジタル画像データすなわち2次元の輝度分布データを2次元フーリエ変換処理し、そのパワースペクトル分布を得て、下式で計算される。

$$IPSL = \frac{\int_0^L \int_0^L P(\theta, \phi) d\theta d\phi}{P(0,0)} \quad (式1)$$

ここで、Pはパワースペクトル、 θ は空間周波数、 ϕ は角度である。0~Lは「粒子感」に対応する空間周波数領域である。なお、デジタル画像からIPSLが求められる過程は、まず光輝性塗色のデジタル画像(1)の2次元フーリエ変換を行い、パワースペクトル画像(2)を得る。次に「粒子感」に対応する空間周波数領域のみを、パワースペクトル画像から抽出する(図17)。図(3)中の中央のグレーの円が抽出部分で、黒い部分はカットした部分である。

5.1.2 IPSLの最適化

塗色グループ①・③をモデルとして、その官能評価結果と最も順位相関の高くなる条件を探す事により、IPSLの最適化を図った。

a. 積分範囲の決定

塗色グループ①をモデルとして、IPSLのパワースペクトル積分範囲を振らせて、官能評価結果との相関が最大となる条件を把握した。その結果、(式1)における積分範囲Lは4.4(本/mm)が最良となる事を確認した。結果を図18に示す。なお、この検討における撮像は、照明光の入射角度を15度で行った。

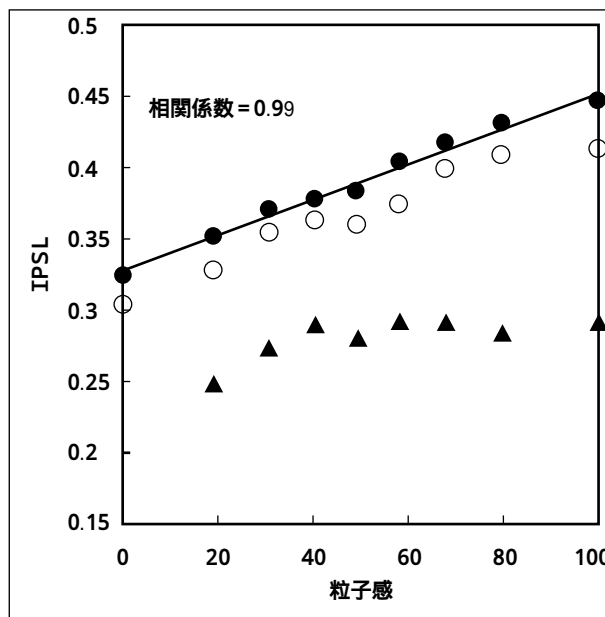


図18 塗色グループ①のパワースペクトル画像から抽出した空間周波数領域の違いによる「粒子感」とIPSLの関係の例
 : 0~4.4(本/mm) : 4.4~13.4(本/mm) : 17.8~22.3(本/mm)

b. 照明角度の決定

照明光の入射角度を振らせて、官能評価結果との順位相関が最大となる条件を把握した。その結果、入射角度が15度のとき、塗色グループ③で相関係数0.96の高いレベルでの最良値を示す事を確認した。結果を図19に示す。

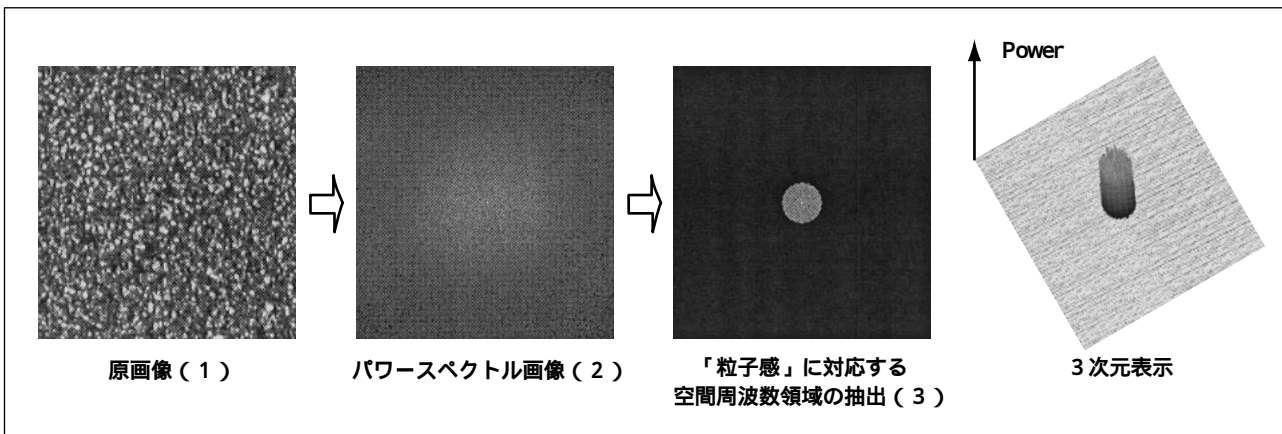


図17 パラメータIPSL 計算の概念図

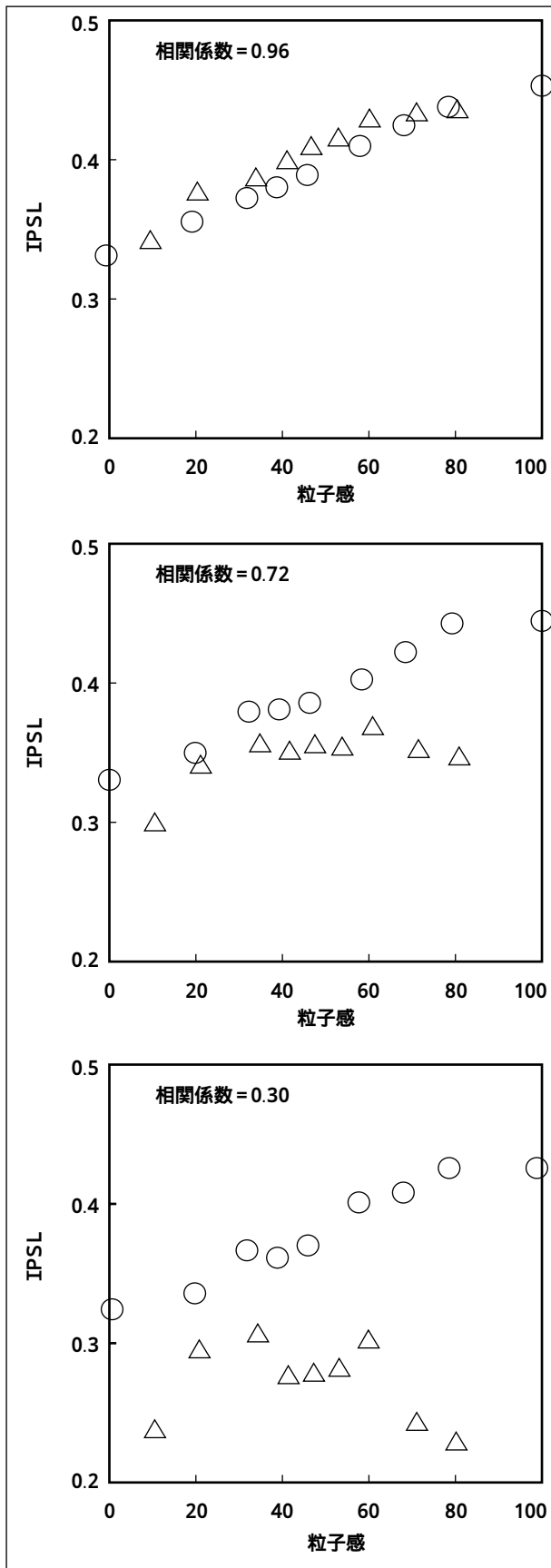


図19 照明角度の変化に対する塗色グループの「粒子感」とIPSLの関係
 入射角 = 15度(上)、30度(中)、45度(下)
 ○: シルバーメタリック、△: ブルーメタリック

5.1.3 IPSLと「粒子感」の相関

IPSLと「粒子感」の関係を、塗色グループ①～④を用いて詳しく調べてみた。塗色グループ①・②・③については高い相関が認められた(図20、21、22)。しかし塗色グループ④に関しては、官能実験のバラツキが大きい事と相まって相関係数は①～③に比べて低かった(図23)。相関を乱す試料は、概して「粒子感」が消失する間際の低明度領域の試料であった。「粒子感」は、確かに15°/0°の角度条件でのL*値が17以上の塗色で知覚されるが、光輝性顔料の濃度が低下するにつれて、知覚としては徐々に不鮮明化するように思われる。このような背景のもとに、中明度以上の試料では、明度差があっても容易に「粒子感」の順位付けが可能であったが、中～低明度での、特に明度の異なる試料間での「粒子感」の順位付けは困難さを増す。一方のIPSLは、パラメータの性格として試料塗板の輝度ピーク情報を包含しているために、試料の光輝性顔料濃度の低下につれて、「キラキラ感」に対応する性質を増してくると推測される。ただし、残念ながら現時点では、IPSLが低明度領域で「キラキラ感」あるいはその構成因子に特に高い相関を示すという確証は得られていない。

まとめると、IPSLは中明度以上では「粒子感」に高い相関を示し、「粒子感」知覚そのものが薄れてくる低明度領域では相関が低下する。

低明度領域でのIPSLとマイクロ光輝感知覚とのより精密な関連づけは、筆者らの今後の課題として残っている。

5.2 「キラキラ感」に相関するパラメータの導出

試料塗板の二次元画像中のピークの平均形状が、知覚としての「キラキラ感」と密接に関係していると考えた。そこ

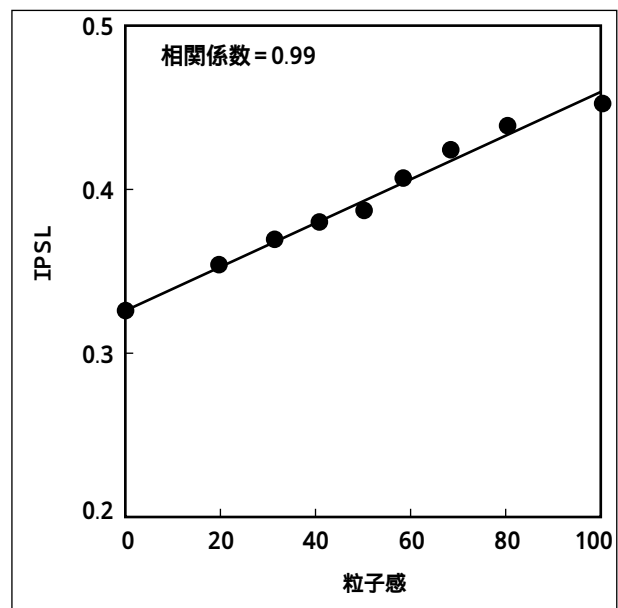


図20 塗色グループの「粒子感」とIPSLの関係

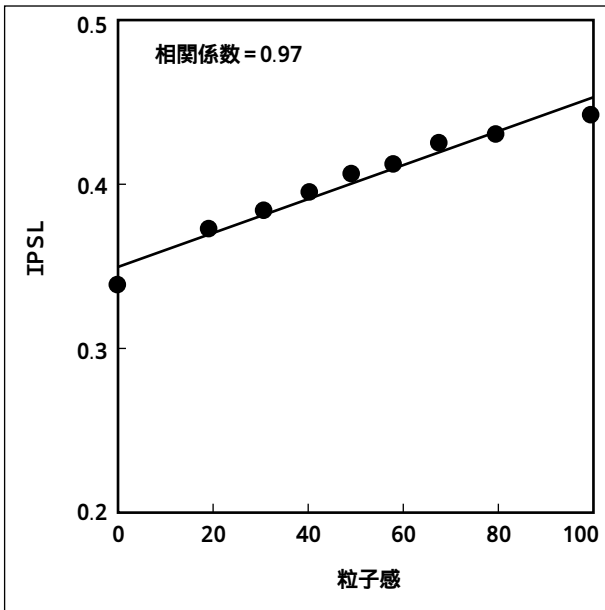


図21 塗色グループの「粒子感」とIPSLの関係

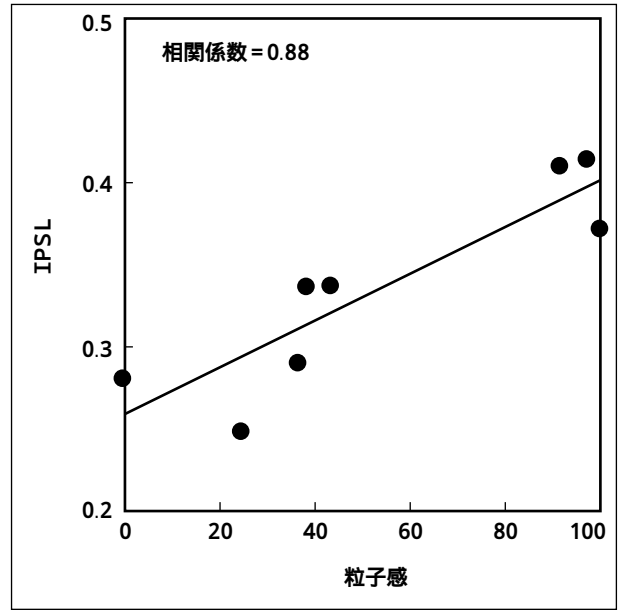


図23 塗色グループの「粒子感」とIPSLの関係

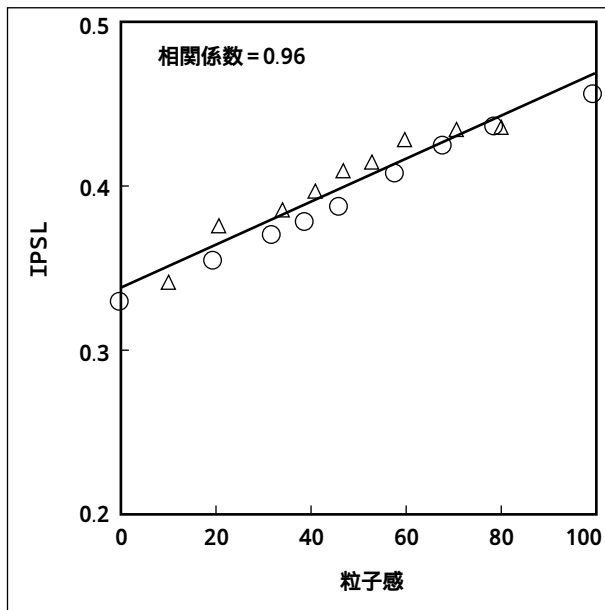


図22 塗色グループの「粒子感」とIPSLの関係
：シルバーメタリック、 Δ ：ブルーメタリック

で、ピークの平均形状を示す下記の3つのパラメータを導出して「キラキラ感」の各構成因子との関係を調べた。

5.2.1 平均ピーク高さ (PHav)

画像の平均GL + 32の閾値で2値化した時の閾値以上の総輝度体積 (V) を総輝度面積 (A) で割ったものに3を掛けた値とし、平均ピーク高さPHav (Peak Height of average) とした。

$$PHav = 3V / A \quad (\text{式2})$$

PHavは、④に対して行った「キラキラ感」の強い / 弱いに関する官能評価結果と高い相関を示した(図24)。

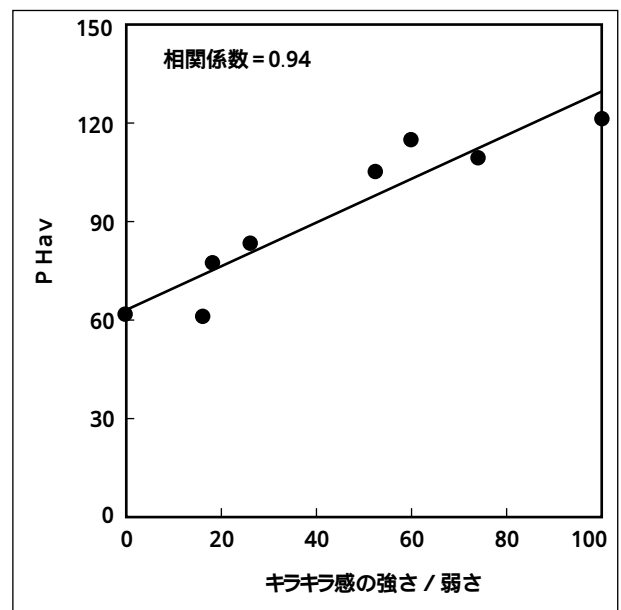


図24 塗色グループの「キラキラ感」の強 / 弱とPHavの関係

5.2.2 平均ピーク面積 (PAav)

画像の平均GL + 32の閾値で2値化した時の閾値以上の総輝度面積 (A) を粒子の総個数 (C) で割った値とし、平均ピーク面積 PAav (Peak Area of average) とした。

$$PAav = A / C \quad (\text{式3})$$

PAavは、塗色グループ④に対して行った「キラキラ感」の粒の大きい / 小さいに関する官能評価結果と高い相関を示した(図25)。

5.2.3 平均ピーク裾広がり率 (PSav)

画像の平均GL + 24の閾値で2値化した時の平均粒径

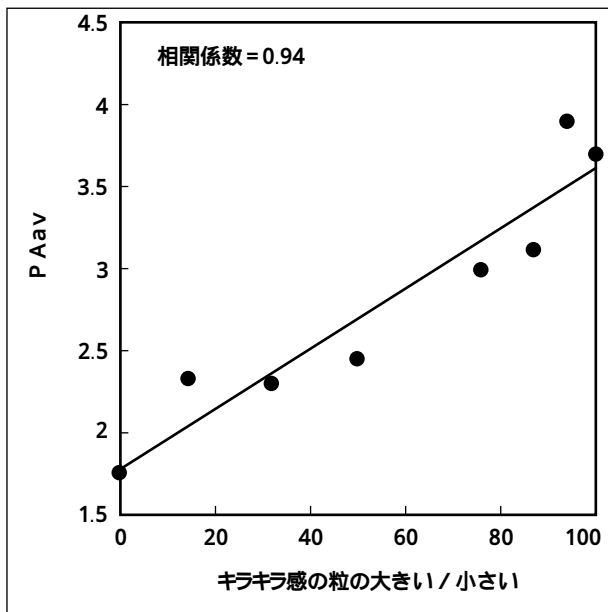


図25 塗色グループの「キラキラ感」の粒の大きい/小さいとP Aavの関係

(L)を平均ピーク高さ(PHav)で割った値とし、平均ピーク裾広がりの率PSav(Peak Skirt of average)とした。

$$PSav = L / PHav \quad (式4)$$

PSavは、「キラキラ感」の硬質な/ソフトなに相関するパラメータと予想されたが、良好な相関は得られなかった。

5.2.4 輝き度(BV)の導出

「キラキラ感」そのものに対応するパラメータを、平均ピーク形状を表す3つのパラメータPHav、PAav、PSavからなる重回帰式として導出する検討を行った。その結果、塗色グループ①・②・④・⑥に対して行った観察条件①、教示パターン①による官能評価の結果と下式で示すBV(Brilliance Valueの意)が総合的に高い相関を示した。

$$BV = PHav + 350PSav \quad (式5)$$

塗色グループ①・②・④・⑥に関する結果を図26、27、28、29に示す。

5.3 ミクロ光輝感パラメータ・マップの作成

IPSLに「粒子感」を、BVに「キラキラ感」を代表させて、光輝性顔料を含む塗色のミクロ光輝感マップを作成した。塗色グループ③～⑥の結果を図30に示す。

光輝性顔料としてアルミ顔料を用い、且つ、中明度以上の塗色グループ③は、マップ上にほぼ斜め一直線の分布を示した。「粒子感」の大きなものは、「キラキラ感」も連動して大きい。種々の光輝性顔料を含む低～中明度の塗色グループ④・⑤は、マップ上に「粒子感」の大きさと「キラキラ感」の大きさが連動しない散らばった分布を示した。種々の光

輝性顔料を含む低～高明度の塗色グループ⑥は、「粒子感」はほぼ一定で、「キラキラ感」が大きくなっていく分布を示した。

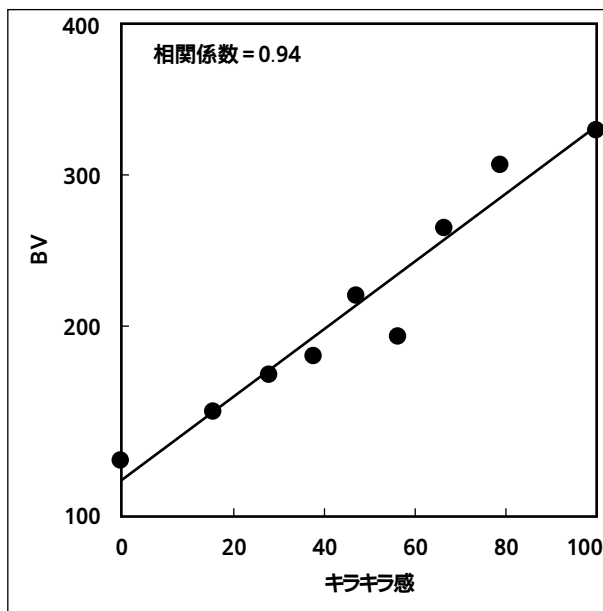


図26 塗色グループの「キラキラ感」とBVの関係

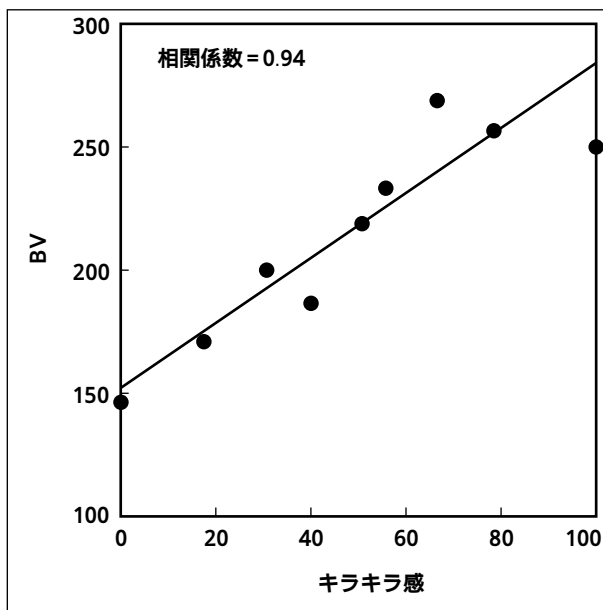


図27 塗色グループの「キラキラ感」とBVの関係

3. まとめ

本研究では、ミクロ光輝感に関する用語の分析を出発点としてミクロ光輝感を構成する知覚因子の明確化、試料塗板のデジタル画像データに基づくミクロ光輝感対応パラメータの導出について検討した。結果をまとめると以下となる。

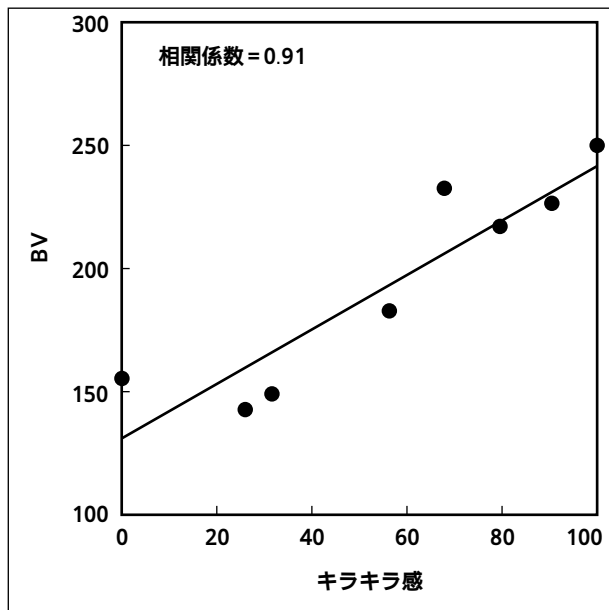


図28 塗色グループの「キラキラ感」とBVの関係

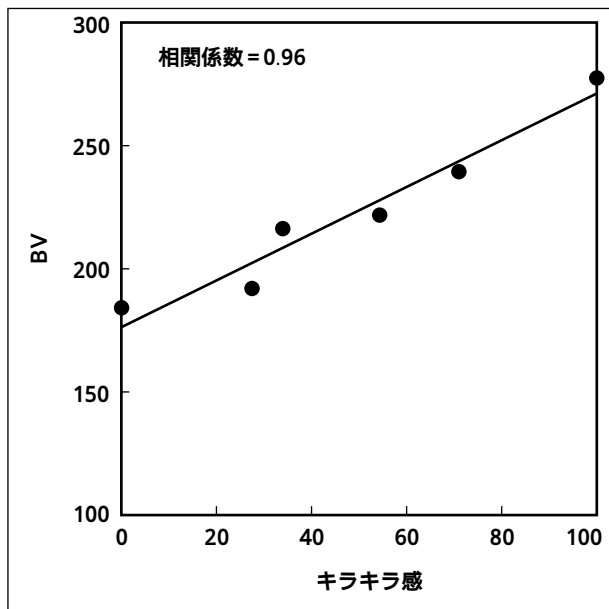


図29 塗色グループの「キラキラ感」とBVの関係

- 1) ミクロ光輝感は、「粒子感」、「キラキラ感」という2つの主要な知覚に統合できる。
- 2) 「キラキラ感」に関しては、強い / 弱い、粒の大きい / 小さい、硬質な / ソフトな、多い / 少ない等の複数の構成因子が存在し、強い / 弱い、粒の大きい / 小さいは一次元尺度化の可能な独立因子である可能性が高い。
- 3) 「粒子感」に概ね相関を示す画像計測パラメータIPSLを導出した。
- 4) 「キラキラ感」に概ね相関を示す画像計測パラメータBVを導出した。

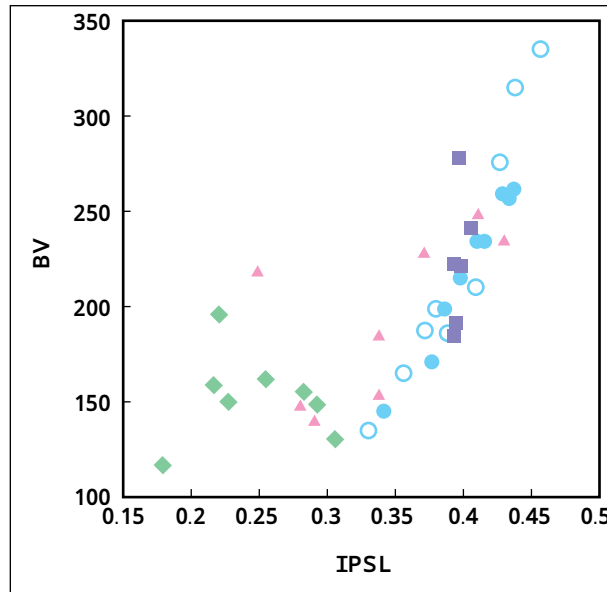


図30 各塗色グループのIPSLとBVの関係

塗色グループ : (シルバーメタリック)、(ブルーメタリック)
塗色グループ : 、塗色グループ : 、塗色グループ :

7. おわりに

本研究の目標は、カラーを特定するための多次元空間の構成にあると述べた。本報は、その多次元空間の一端を担うべきミクロ光輝感次元を確定する道のりの端緒を開いたものと信ずる。最終目標を見据えての今後の研究課題として、下記項目へのチャレンジが必要と考えている。

- ・立体視がミクロ光輝感に及ぼす影響を把握するための両眼視と片眼視によるミクロ光輝感官能評価結果の比較。
- ・SD法に基づくミクロ光輝感多次元空間と本報結果の比較検証。
- ・これらの検討結果を踏まえたミクロ光輝感計測パラメータの精度向上と弁別域の把握。

参考文献

- 1) 馬場護郎: 色材, 63, p.54(1990)
- 2) 竹内徹: 塗装と塗料, 500, p.35(1992)
- 3) 浅枝暉雄: 自動車技術, 49[4], p.51(1995)
- 4) C. S. McCamy: Color Res. Appl., 21, p.29(1996)
- 5) C. S. McCamy: Color Res. Appl., 23, p.36(1998)
- 6) 服部寛, 他: 自動車技術会論文集, 25[1], p.125 (1994)
- 7) 日科技連官能検査委員会: 新版官能検査ハンドブック, p.684, (東京, 日科技連出版社, 1973)
- 8) 乾敏郎: 視覚情報処理の基礎, p.11, (東京, サイエンス社, 1990) 田崎京二, 他: 視覚情報処理, p.5, (東京, 朝倉書店, 1979)