

# 蒔絵に使用する金粉形状による製作工程の違いが 色彩と光輝感に与える影響

小田 功<sup>\*,†</sup>・下出祐太郎<sup>\*\*</sup>・黒田 孝二<sup>\*\*\*,\*\*\*\*</sup>

\*国立高等専門学校機構木更津工業高等専門学校機械工学科 〒292-0041 千葉県木更津市清見台東 2-11-1

\*\*京都産業大学文化学部京都文化学科 〒603-8555 京都府京都市北区上賀茂本山

\*\*\*京都工芸繊維大学伝統みらい教育研究センター 〒606-8585 京都府京都市左京区松ヶ崎橋上町

\*\*\*\*現所属：名古屋工業大学 〒466-8555 愛知県名古屋市中昭和区御器所町

## Influence of the Difference in the Manufacturing Process Depending on the Shape of Gold Powder Used for *Makie* Crafts on Color and Sparkle

Isao ODA<sup>\*</sup>, Yutaro SHIMODE<sup>\*\*</sup> and Koji KURODA<sup>\*\*\*,\*\*\*\*</sup>

\*Department of Mechanical Engineering, National Institute of Technology, Kisarazu College, 2-11-1 Kiyomidai-higashi, Kisarazu-shi, Chiba 292-0041

\*\*Department of Kyoto Studies, Faculty of Cultural Studies, Kyoto Sangyo University, Kamigamo-motoyama, Kita-ku, Kyoto-shi, Kyoto 603-8555

\*\*\*Future-Applied Conventional Technology Center, Kyoto Institute of Technology, Matsugasaki, Sakyo-ku, Kyoto-shi, Kyoto 606-8585

\*\*\*\*Present affiliation: Nagoya Institute of Technology, Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya-shi, Aichi, 466-8555

This paper describes about the analysis of color and sparkle for *makie* crafts. The *makie* expert can express various colors and sparkles by precisely choosing the shape, size and amount of gold powder. The factors of that characteristic color and sparkle have not been investigated until now. We focused on a solid powder and a thin powder those are most widely used as gold powder for *makie* crafts and made some *makie* test pieces by the traditional manufacturing process. The colors of those test pieces were evaluated by using a spectrophotometer and the surface of them were observed by a digital microscope. As a result, it was found that the honing surfaces of gold powder were partially exposed, and the scattered light from gold powders sinking in urushi layer were passing through the urushi coating in *makie* crafts. It was shown that these phenomena are the cause of the unique color and sparkle of *makie* crafts.

**Key words:** appearance, metallic coatings, color measurement, spectrophotometer, light scattering, Japanese lacquer

### 1. はじめに

蒔絵は、漆面に金属粉を用いて描画する加飾技法である。1200年以上の歴史をもつ日本独自の伝統工芸であり、精緻かつきらびやかで深みのある加飾は、世界中で高く評価されている。蒔絵に用いられる金属粉には形状、粗さ、材質にいくつかの種類があり、これらの総数は300種類以上にも及ぶ。蒔絵職人はこれらの金属粉を表現効果によって使い分けているが、その使い分けは、個々の職人が経験に基づいて自分の感性で決めているのが実状である。

また、金属粉の種類や表現効果に応じて、使用する漆の種類や塗布回数を変えて作品を制作するが、これらも職人によって違いがみられる。以上の技能の習熟には10年以上という期間を要し、効率的な技能伝承が課題となっている。

一般的な蒔絵作品は、黒色の漆面に金粉で描画したものが多く、蒔絵作品の例を Fig. 1 に示す。この作品における山の輪郭と橋の描画には、丸粉 (solid gold powder) とよばれる金粉が使われている。また、山の色みが徐々に変化している箇所と局所的に光輝点が点在して見える箇所の描

<sup>†</sup>E-mail: oda@maple.m.kisarazu.ac.jp

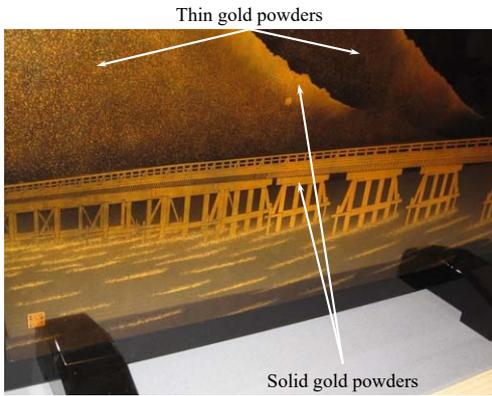


Fig. 1 An example of *makie* crafts. The color and texture are changed by choosing the shape and size of the gold powder. The places sprinkled with the solid gold powder are felt flat and bright gold color. The places sprinkled with the thin gold powder are not only reddish brown color overall but also sparkling.

画には、梨子地粉 (thin gold powder) とよばれる金粉が使われている。このように、金粉だけを用いたとしても、その形状、粗さ、蒔く量といった条件を緻密に変えることで、黒地に明るい金色の描画が鮮明に浮かび上がって見えるとともに、赤褐色のグラデーションが独特の奥行き感を感じさせる作品となる。丸粉は使用すると明瞭な金色に見えるため、漆の黒色地との境界を際立たせたい箇所を用いることが多い。これに対して、梨子地粉を使用すると赤みを帯びた深みのある色合いに見えると同時に、鋭い光輝点が点在して見えるので、梨子地粉は奥行きを表現したい箇所やきらめかせたい箇所を用いる。このような金粉のおおよその使い分けは経験に基づいて伝承されているが、金粉の使い分けによって色彩や光輝感に差異が生じる原因は解明されていない。

ところで、さまざまな素材の光学特性に関する研究がこれまでにいくつか報告されている。その多くは工業製品を対象としたものであり、建築物用塗装面における表面性状が光沢に与える影響を分析した例<sup>1)</sup>、射出成型プラスチックの色と光沢が表面性状で変化することを、分光光度計と光沢度計を使用して評価した例<sup>2)</sup>、自動車用メタリック塗装における照明および受光の幾何学的条件を変化させたときの反射率の変動特性を、主成分分析により評価した例<sup>3)</sup>などがある。メタリック塗装内部の金属フレークからの正反射光による金属光沢感、光輝感とよばれる<sup>4)</sup>。メタリック塗装やパール塗装においては、光散乱の均一さと光輝感が見た目の性状特性を決める重要なパラメーターであるという報告<sup>5)</sup>もある。工業製品以外を対象物とした報告には、建築用の天然石材における表面粗さが色みの変化

に与える影響を、分光測色計を用いた色彩計測により検討した例<sup>6)</sup>、絵画におけるワニスの分光反射率や表面の状態、浸透状態の影響を検討した例<sup>7)</sup>などがある。このように、色彩や光輝感および表面性状に関する研究の報告はいくつかあるが、蒔絵の色彩や光輝感を対象とした報告はこれまでに例がない。

以上の研究背景の下、本研究では、まだ未解明である蒔絵の光学特性を分析することにした。蒔絵の色彩や光輝感が発生する要因を解明できれば、加飾の表現に応じて最適な漆の種類や金粉の種類を経験によらず合理的に選択でき、非習熟者への効率的な技能伝承が可能になると考えたからである。本論文では研究の第一段階として、最も一般的である丸粉と梨子地粉を使用した蒔絵に研究対象を絞ることにした。

## 2. 金 粉

本論文で研究対象とする蒔絵に使用されている、2種類の金粉について説明する。丸粉は、やすりで金の地金をやすり盤の上におろし、さらにやすり目を付けた金槌で円を描くように軽く研磨することで製粉する、金粉はやすり盤と金槌との間で摩擦し、丸みを帯びたものとなる。これに対して梨子地粉は、やすりでおろした金の地金を潰して薄片状にしたものである。丸粉の製法は鎌倉時代から、梨子地粉の製法は室町時代からそれぞれ伝承されている技法である。丸粉と梨子地粉は、それぞれ10数種類の粗さが蒔絵用の金粉として市販されている。粗さは号数によって区別され、数字が大きくなるほど粒子が粗くなる。ただし、丸粉と梨子地粉は形状が異なり粗さの比較ができないため、号数が同一であっても粒子径が同一というわけではない。

金粉の形状および号数に対応した蒔絵の製作工程は、蒔絵職人によって若干の違いはあるが、ほぼ決まっている。これは、各金粉の特徴を生かすためと金粉を十分に固着させるための最適な蒔絵の製作工程を、個々の職人が経験的に確立した結果である。本論文では、丸粉を使用した蒔絵と梨子地粉を使用した蒔絵の光学特性を分析するために、実物の蒔絵を模した試験片を蒔絵作品と同一の製作工程で製作することにした。試験片は手作業による製作になるため、仕上がりにばらつきが出るのが予想された。そこで、金粉は13号、14号の丸粉と、1号、2号の梨子地粉のそれぞれ2種類ずつを選んだ。

市販されている状態の蒔絵用の金粉 (浅野商店) を Fig. 2 に示す。包装には粉末の材質、形状、号数と内容量の情報しか表記がなく、粒子径や詳細な形状が不明であった。



Fig. 2 Commercially available gold powders for the makie crafts. We are not able to get any information other than shape and powder No. from the package.

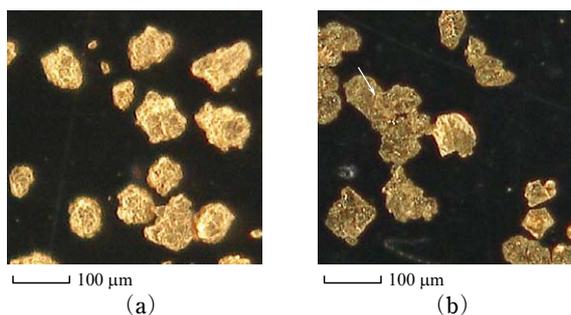


Fig. 3 Microscope images of gold powders for test pieces. From the state of the shadow of light, it can be seen that the particles in (a) are three-dimensional and the particles in (b) are flat. Since the particles of (b) are flat, it can be seen that they overlap at the part of the arrow. (a) Solid powder No. 14, (b) thin powder No. 1.

そこでデジタル顕微鏡（ハイロックス，KH-1300）を用いて，金粉を観察することにした．デジタル顕微鏡で撮影した金粉画像の例を Fig. 3 に示す．(a) が 14 号の丸粉，(b) が 1 号の梨子地粉の画像である．個々の金粉粒子に着目すると，その大きさや形状にはばらつきがあるが，丸粉に共通する形状と梨子地粉に共通する形状がわかった．(a) の画像の金粉には光の陰影が生じており，金粉粒子が三次元形状であることを示していた．これに対して，(b) の画像の金粉には光の陰影が少ない．さらに矢印部を見ると，金粉が重なり合っていることが観察できた．これらのことより，丸粉は立体形状であり，梨子地粉は薄片形状であることが確認できた．また (a) より，丸粉はその名称から想像される球形ではないことも新たにわかった．

デジタル顕微鏡で撮影した画像から，金粉の粒子径の測定を試みた．丸粉，梨子地粉とも形状にばらつきがあるため，Fig. 4 に示す手順で見かけの粒子径を求めた．まず，(a) のように，汎用画像処理ソフトウェアを用いて金粉粒子の境界部を抽出する．次に，(b) のように境界部の 2 点間に線分を引くとき最長となる線分 a を求めるととも

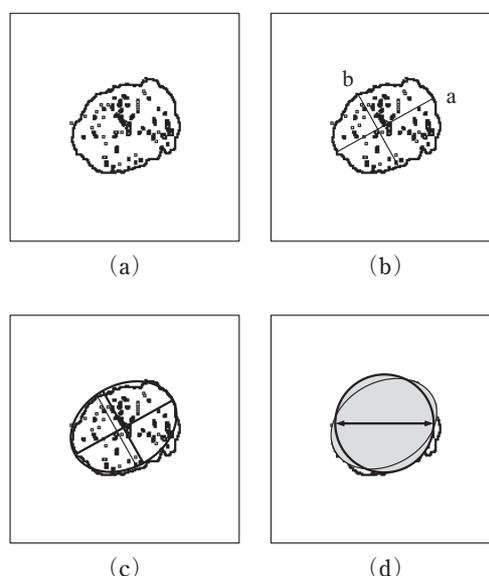


Fig. 4 Determining process of the apparent particle size. The shape of the particles was regarded as an ellipse, and the diameter of a circle with the same area as that of the ellipse was considered as the particle size. (a) Extraction of particle edge, (b) determining the length of the major and minor axes, (c) elliptical approximation of particle shape, (d) apparent particle size.

に，この線分に直交し，粒子の境界部との交点間の距離が最長となる線分 b も求める．これら 2 つの線分の長さをそれぞれ長軸長と短軸長とすれば (c) のように楕円が描けるので，金粉粒子の形状をこの楕円に近似することにした．そして (d) のように，この楕円に等しい面積の円の直径を算出し，これを見かけの粒子径と定義した．また Fig. 3 (a) を観察すると，微細な金粉が含まれていることがわかる．これらの微細な金粉は，他の金粉と比較しても明らかに微細であり数も少ないことから，蒔絵の色彩や光輝感に寄与している影響は弱いと考えた．そこで，撮影範囲である 1.8 mm×1.2 mm の顕微鏡画像中に写り込んでいるすべての金粉の粒子径をいったん求め，粒子径の分布が正規分布に従うと仮定したときの，上位 95% の粒子のみを測定対象とすることにした．以上のようにして測定した各金粉の見かけの粒子径を，Table 1 にまとめる．顕微鏡画像は，各金粉に対してそれぞれ 3 枚 (A~C) ずつ撮影している．平均粒子径の比較より，1 号の梨子地粉は，13 号と 14 号の丸粉のちょうど中間の粒子径であった．

### 3. 試験片

漆工芸職人歴 39 年の伝統工芸士が試験片を製作した．試験片の製作工程を，Fig. 5 を用いて説明する．70 mm×70 mm×5 mm のアクリル樹脂板の表面全体に蝋色漆を塗

Table 1 Comparison of measurement results of apparent particle size.

Shape	Powder No.	Microscopic image	Number of particles		Apparent particle size [ $\mu\text{m}$ ]	
					Mean	Standard deviation
			All	Top 95% from the largest		
Solid	13	A	29	27	51	15
		B	27	26	53	13
		C	27	26	49	9
	14	A	14	14	71	8
		B	20	20	70	6
		C	21	17	72	10
Thin	1	A	37	34	62	19
		B	35	32	63	14
		C	35	33	56	18
	2	A	27	25	89	25
		B	13	12	94	17
		C	14	13	96	19

布し、乾燥後に塗面を研磨することで鏡面状態にした。この上に絵漆と梨子地漆を1対1で混ぜ合わせた漆で下絵を描き、乾燥する前に直径40mmの円形全域に一様に金粉を蒔き付けた。漆が乾燥した後、さらに希釈した梨子地漆を浸透するように塗ることで、金粉が流動しないようにした。これ以降の工程は、丸粉と梨子地粉とで異なっている。丸粉では、梨子地漆の上から上摺り漆を数回摺り重ね、金粉を固着させた後、炭で表面を研磨した。さらに上摺り漆を摺り込み、上摺り漆が乾燥した後、磨き粉と油で表面を磨く蝨色工程を行い、光沢仕上げとした。これに対して梨子地粉では、梨子地漆で金粉を固着させ、炭で表面を研磨した後に、表面の研磨傷を埋めるために上摺り漆を数回塗り重ねた。上摺り漆の乾燥後に蝨色工程を行った。梨子地粉では蝨色工程で表面の上摺り漆を磨き落とすため

Table 2 The purposes and colors of urushi used to make the test pieces.

Type of urushi	Purpose	Color tone
<i>Roiro-urushi</i>	Base	Black
<i>E-urushi</i>	Rough design	Dark yellowish red
<i>Nashiji-urushi</i>	Rough design, Coating	Yellowish red
<i>Uwazuri-urushi</i>	Coating	Dark reddish brown

に、丸粉とは異なり、上摺り漆が表面にほとんど残らない。また、以上の研磨工程から、蒔絵では丸粉および梨子地粉ともに、金粉の一部が露出している表面状態となる。

試験片の製作に使用した漆の種類、用途、色みをTable 2にまとめる。蝨色漆は黒色、絵漆はベンガラ色である。金粉を固着するために使用する梨子地漆と上摺り漆は、それぞれ黄色がかった赤色と黒色がかった赤褐色である。この上摺り漆の黒色は、塗布中における酸化重合反応によるものである。蒔絵に使用する漆には、黄赤系の色みが多い。漆の透明度は配合する顔料の種類や量により異なるが、漆は透明度が高く、特に梨子地漆と上摺り漆は透き通っており光を透過しやすい。

金粉を固着するための、漆の塗布回数をTable 3にまとめる。蒔絵では、光を透過しやすい梨子地漆と上摺り漆を複数回重ねて塗布していることから、使用したすべての漆の色みが蒔絵の色彩に影響を与えていると予想できる。ただし梨子地粉においては、最上層に塗布されている上摺り漆を蝨色工程でほとんど磨き落としてしまうことから、上摺り漆が蒔絵の色彩に与える影響はないと判断した。

製作した代表的な試験片の外観を、Fig. 6に示す。左側が14号の丸粉を使用した試験片、右側が1号の梨子地粉を使用した試験片である。どちらも金粉自体の色みは同じであるが、梨子地粉を使用した試験片のほうは、丸粉を使用した試験片よりも赤みが強く見える。

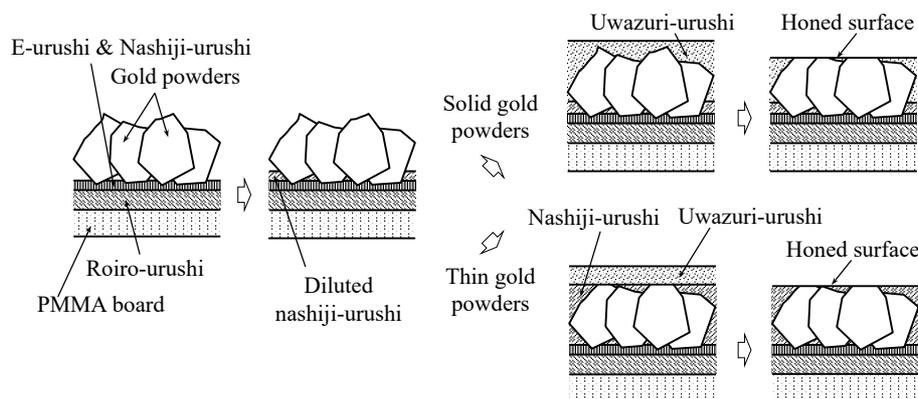


Fig. 5 Manufacturing process of *makie* test pieces. This process is same as that of real *makie* crafts. There are some gold powders exposed on the surface. In the case of thin gold powders, no *uwazuri-urushi* remains on the *makie* surface.

Table 3 The number of coatings to fix the gold powders.

Shape	Powder No.	Number of coatings to fix the gold powders	
		Nashiji-urushi	Uwazuri-urushi
Solid	13		
	14	1	4
Thin	1	3	3
	2		

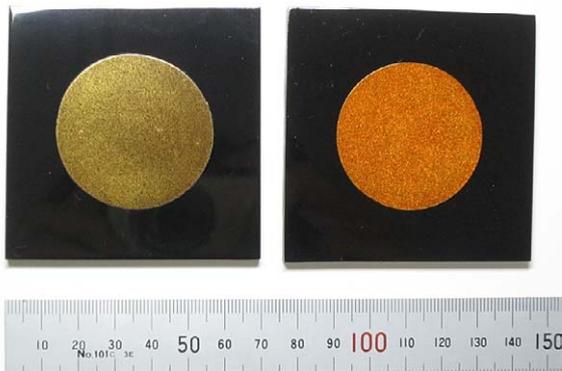


Fig. 6 Appearance of typical test pieces. The left is a test piece using solid gold powder No. 14, and the right is a test piece using thin gold powder No. 1. The color of left test piece is gold and the color of right test piece is more reddish than the left one.

#### 4. 色彩評価

特定のスペクトルを吸収することで色を発する顔料などの色材で塗装した物体の色彩は、色材を通過した拡散反射光として観測されるため、測色における照明および受光の幾何学的条件に依存しない。ところが、メタリック塗装やパール塗装といったいわゆる特殊塗装を施した物体の色彩は、この幾何学的条件に依存することが知られている。メタリック塗装では、塗装内部の金属フレークからの鏡面反射が発生するので、明度が幾何学的条件に依存する。しかし、照明および受光の方向を変化させても顔料によるスペクトルの吸収には影響がないため、色度は照明および受光の幾何学的条件に依存しない<sup>8)</sup>。これに対してパール塗装では、塗装内部の光干渉顔料において干渉光が発生するので、明度だけでなく色度も幾何学的条件に依存する。

蒔絵に色彩を生じさせる要素は、漆に含まれる顔料成分と金粉である。蒔絵には光干渉顔料が含まれていないので、色度は照明および受光の幾何学的条件に依存しないと予想した。そこで、幾何学的条件が固定式の測色計でも色彩の評価が可能と考え、分光測色計（コニカミノルタ、CM-700d）を用いて測色することにした。使用した分光測色計の構造と、照明および受光の幾何学的条件を Fig. 7 に

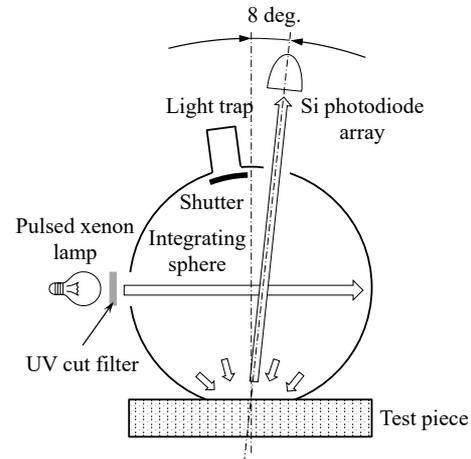


Fig. 7 Optical arrangement and optical geometry of the spectrophotometer (Konica-Minolta, CM-700d) which we used. We can switch the measurement mode between SCE and SCI by opening and closing the shutter. SCE and SCI are mode in which specular reflected light is removed and mode in which that is included, respectively. We measured with an observation condition set to the 10 deg. field, and a light source set to the D65 illuminant.

示す。この分光測色計では積分球を使用した拡散照明方式を採用しており、紫外光を遮断したパルスキセノンランプからの光が、試料をあらゆる方向から均等に照明する。試料からの反射光を試料面の法線に対して $8^\circ$ の方向から受光し、分光反射率が計測できる。測色計の内部メモリーには各種標準光源のスペクトルデータが格納されており、それら標準光源における測色値が算出できるようになっている。色彩の測色値は種々の表色系で表すことができる。本論文ではD65標準光源のスペクトルデータを用い、人間の見た目の色差を反映するといわれている $L^*a^*b^*$ 表色系で色彩を数値化することにした。また、測色の観察条件は、 $10^\circ$ 視野とした。

Fig. 7に示すように、使用した分光測色計には、試料に正反射した光が受光器に入射しないように、光トラップが設置してある。光トラップの入射口に設置してあるシャッターを開閉することで、正反射光を除去した測色（SCE）と正反射光を含む測色（SCI）が可能となっている。SCEは、人間が物体を観察するときに正反射光には物体の色が反映されないことから、正反射光を避け散乱光が捉えられる方向で観察していることに対応している。一方、金属光沢面などの正反射が強い物体では、物体の色情報（ $a^*$ 、 $b^*$ ）が物体表面や物体内部からの散乱光よりも、正反射光のほうに多く含まれている場合がほとんどである。このため金属面やメタリック塗装面、およびパール塗装面では、SCIで測色することが一般的である<sup>9)</sup>。蒔絵の場合、Fig. 5

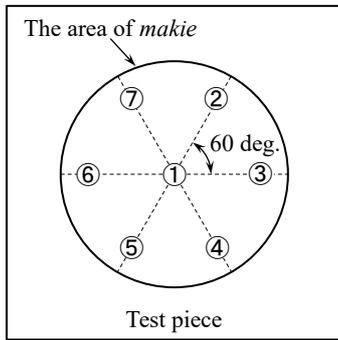


Fig. 8 The measurement points in the test pieces. The place of the number is the measurement point. Seven points were evenly measured from the entire *makie* area.

で説明したように一部の金粉が表面に露出しているうえ、透明度の高い漆の内部に金粉が蒔かれていることから、金属面やメタリック塗装面に似た光反射特性であることが予想できた。そこで、SCEだけでなくSCIでも測色することにした。

各試験片における測色点は、金粉が蒔かれている領域全体にわたって偏らないように、Fig. 8に示されている①～⑦の7点とした。各試験片における7点の測色値の平均値と標準偏差を、Table 4とTable 5にまとめる。Table 4はSCEでの測色結果、Table 5はSCIでの測色結果である。Table 4とTable 5に示した明度の平均値を、比較しやすいようにFig. 9に図示する。エラーバーは、各試験片における7点の測色値の最大値と最小値を表している。SCEによる明度は、梨子地粉を使用した試験片のほうが丸粉を使用した試験片よりも高かった。さらにSCIとSCEとの明度の

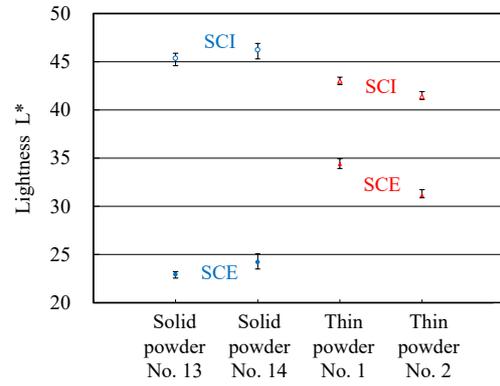


Fig. 9 Comparison of measured lightness data for each powder. It can be seen that the lightness data of the same shape of powder show the same tendency regardless of the powder No.  $L^*$  values by SCE are higher for thin powder than for solid powder. The increase of  $L^*$  value from the SCE to SCI in solid powder is greater than in thin powder.

差は、梨子地粉を使用した試験片よりも丸粉を使用した試験片のほうが大きくなった。次に、色度の比較をFig. 10の色度図に示す。この図でも、エラーバーは各試験片における7点の測色値の最大値と最小値を表している。いずれの試験片も、黄赤系の色みであることがわかる。13号と14号の丸粉を使用した試験片では、どちらもSCEによる色度とSCIによる色度の差が小さかった。これに対して、1号と2号の梨子地粉を使用した試験片では、どちらもSCEによる色度とSCIによる色度の差が大きく、SCEのほうがより鮮やかな色みであった。以上のように、金粉形状とそれに対応した製作工程の違いにより測色結果に差がみられた。

Table 4 Measured CIE- $L^*a^*b^*$  parameters under D65 illuminant by use of SCE mode.

Shape	Powder No.	$L^*$		$a^*$		$b^*$	
		Mean	Standard deviation	Mean	Standard deviation	Mean	Standard deviation
Solid	13	22.94	0.22	12.52	0.14	24.04	0.45
	14	24.21	0.52	9.75	0.24	22.61	0.27
Thin	1	34.41	0.35	27.66	0.24	51.45	0.48
	2	31.15	0.26	25.51	0.22	44.27	0.36

Table 5 Measured CIE- $L^*a^*b^*$  parameters under D65 illuminant by use of SCI mode.

Shape	Powder No.	$L^*$		$a^*$		$b^*$	
		Mean	Standard deviation	Mean	Standard deviation	Mean	Standard deviation
Solid	13	45.36	0.39	9.67	0.09	21.06	0.32
	14	46.23	0.55	8.70	0.14	20.81	0.34
Thin	1	42.98	0.27	21.67	0.18	26.43	0.35
	2	41.37	0.26	18.96	0.16	22.61	0.32

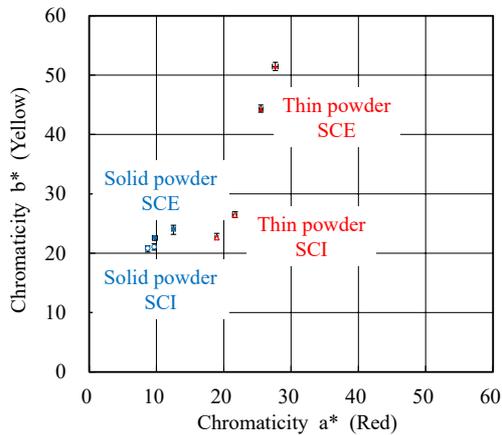


Fig. 10 Comparison of measured chromaticity data for each powder. It can be seen that the positions of powders of the same shape show the same tendency regardless of the powder No. In the solid powder, there is almost no difference between chromaticity by SCE and that by SCI. Compared with the solid powder, in the thin powder, the chroma of SCE is much higher than that of SCI.

## 5. 顕微鏡による観察

蒔絵では金粉の一部が表面に露出している。さらに漆層内部に沈んでいる金粉が、漆層を透過して見えている。これらの表面状態をデジタル顕微鏡（ハイロックス，KH-1300）で詳細に観察することにした。Fig. 11に、丸粉を使用した試験片と梨子地粉を使用した試験片の表面を、デジタル顕微鏡で撮影した画像の例を示す。試験片表面に露出している金粉は、(a)の丸粉を使用した試験片のほうが、(b)の梨子地粉を使用した試験片よりも多かった。金粉が露出している部分以外の見え方にも違いがあった。丸粉を使用した試験片では、黒色の漆が広範囲に観察できた。これに対して、梨子地粉を使用した試験片では、漆層内部の金粉が広範囲かつ明瞭に観察できた。

観察結果を定量的に評価する必要があると考え、4種類の試験片の観察結果から、表面に金粉が露出している面積と黒色の漆が見える面積それぞれの割合を求め、丸粉を使用した試験片と梨子地粉を使用した試験片とで比較することにした。Fig. 11の顕微鏡画像において、手作業で表面に金粉が露出している領域と黒色の漆が見える領域を強調する処理を施した画像を、Fig. 12に示す。水色が表面に

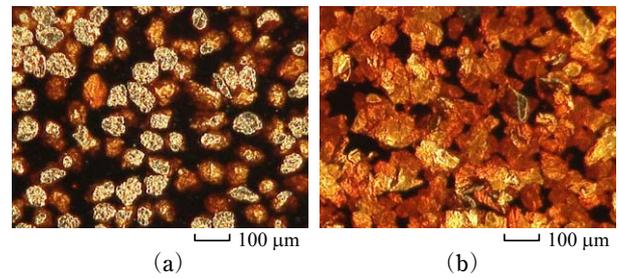


Fig. 11 Microscope images of the *makie* test piece surfaces. Test pieces of solid powder have a larger area where gold is exposed on the surface than those of thin powder. In images of thin powder, many gold powders sinking in the urushi can be seen. (a) Solid powder No. 14, (b) thin powder No. 1.

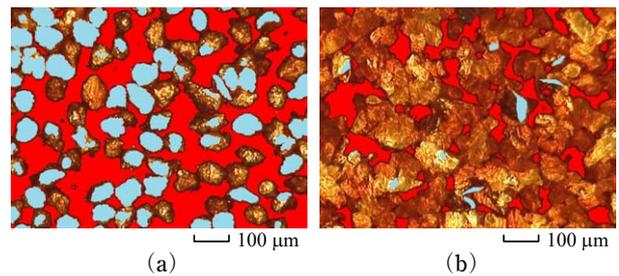


Fig. 12 Images with emphasized the area where gold is exposed on the surface and the area where black colored urushi can be seen. Light blue and Red mean the areas where the gold surface is exposed and where the black colored urushi can be seen, respectively. (a) Solid powder No. 14, (b) thin powder No. 1.

金粉が露出している領域、赤色が黒色の漆が見えている領域（ウェブ版では図はカラーで表示）である。各試験片に対して Fig. 8 の 7 点における顕微鏡画像を取得し、Fig. 12 に示した画像処理を行い、表面に金粉が露出している領域と黒色の漆が見えている領域とが画像全体に占める割合を算出した結果を Table 6 にまとめる。表面に金粉が露出している領域の割合は、丸粉を使用した試験片では 20% 以上あるのに対して、梨子地粉を使用した試験片ではわずか 1~2% と大きな違いがあった。また、黒色の漆が見えている領域の割合は、丸粉を使用した試験片では 30% であるのに対して、梨子地粉を使用した試験片では 10% と、丸粉を使用した試験片のほうが 3 倍ほど高かった。これらの領域以外は、漆層に沈んでいる金粉が透けて見えている領

Table 6 Percentages of the areas where gold is exposed and the areas where black colored urushi can be seen.

Shape	Powder No.	Areas where gold is exposed (%)				Areas where black colored urushi can be seen (%)			
		Max	Min	Mean	Standard deviation	Max	Min	Mean	Standard deviation
Solid	13	23.1	18.9	21.0	1.5	33.2	25.2	29.9	2.7
	14	29.1	19.0	24.4	3.1	35.8	28.2	32.1	2.4
Thin	1	1.1	0.8	1.0	0.1	14.3	9.3	11.8	1.8
	2	2.1	1.1	1.6	0.4	14.8	11.1	12.5	1.1

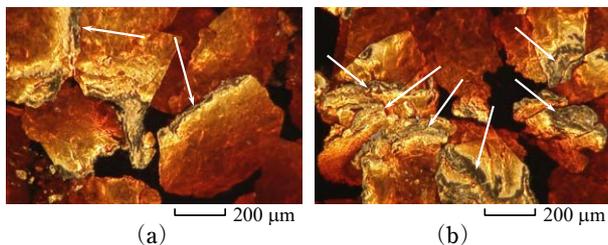


Fig. 13 Microscope images of the *makie* test piece whose gold powder is thin powder No. 7. It can be seen that the shapes of the exposed gold surface are elongated. Some gold powders are crumpled, therefore the gold exposed surfaces have complex shapes. (a) Example of elongated shape, (b) example of complex shape.

域である。この領域の割合は、梨子地粉を使用した試験片のほうが丸粉を使用した試験片よりも2倍ほど高く、梨子地粉を使用した試験片では画像全体の80%以上にも及んでいた。

Fig. 12より、丸粉よりも梨子地粉のほうが、表面に露出している金粉の形状が不均一に見えることから、梨子地粉を使用した蒔絵の表面における金粉の形状をより詳細に観察しようと考えた。そこで、粒子径の大きい梨子地粉を使用した試験片を新たに製作した。7号粉を使用した試験片の表面をデジタル顕微鏡で撮影した画像を、Fig. 13に示す。平面部分が漆の研磨面に対して平行な向きで固着した金粉は、ほとんどなかった。(a)のように表面に対して傾いた向きで固着した金粉が多く、これらの金粉では、表面に金が露出している部分が矢印で示すように細長形状になっていた。また、(b)のように金粉にしわが生じた状態で固着した金粉も局所的に観察できた。このしわは梨子地粉が薄片形状であるために生じたものであり、丸粉にはない特徴であることが新たにわかった。しわが生じた金粉では、表面に露出している部分が、矢印で示すように複雑な形状になっていた。

## 6. 考 察

製作した4種類の試験片すべてで、SCEとSCIのどちらとも色情報 ( $a^*$ ,  $b^*$ ) が取得できている。Table 2にまとめたように、使用されている漆が黄赤系の色みであることや、金粉が黄赤系の色みの純金であることから、 $a^*$  値と  $b^*$  値が正になったといえる。

丸粉を使用した蒔絵の特徴について考察する。一般に明度  $L^*$  は、SCEよりもSCIのほうが高くなる。SCIには、SCEの明度に正反射光が加わるからである<sup>10)</sup>。このSCEからSCIへの  $L^*$  の増分は、梨子地粉を使用した試験片よりも丸粉を使用した試験片のほうが大きいことが、Fig. 9

よりわかる。また Fig. 10からは、梨子地粉を使用した試験片よりも、丸粉を使用した試験片のほうがSCEとSCIの色度の差が小さいことがわかる。これらの結果は、梨子地粉を使用した蒔絵と比較して丸粉を使用した蒔絵が、より金属面に近い見え方であることを示している。このことは、Table 6より梨子地粉を使用した試験片よりも丸粉を使用した試験片のほうが、金属である金粉が表面に露出している領域の割合が20倍近く高いことから説明できる。また丸粉を使用した試験片では、上摺り漆が酸化重合反応により黒変しているため、漆層内部の金粉からの散乱光が弱くなる。これは梨子地粉を使用した蒔絵にはみられない現象である。自動車用メタリック塗装では、下地塗装を黒色にしたうえで金属フレークの配向を揃え、塗装内部からの散乱光を弱めることで、より金属感を高めた塗装が開発されている<sup>11)</sup>。丸粉を使用した蒔絵でもこれと同様な効果が生じているといえる。ただし、丸粉を使用した蒔絵でも、表面に金粉が露出している領域の面積は表面全体の20%強に過ぎない。このため、蒔絵の色彩は、漆内部の金粉からの散乱光や漆の色の影響も受けるはずである。このことが一般的な金属面とは異なる独特の風合いを蒔絵に生じさせている可能性もある。

次に、梨子地粉を使用した蒔絵の特徴について考察する。Table 4および Fig. 9より、SCEにおける  $L^*$  を、丸粉を使用した試験片と梨子地粉を使用した試験片とで比較すると、梨子地粉を使用した試験片のほうが高い。これは梨子地粉を使用した試験片のほうが、丸粉を使用した試験片よりも散乱光が強いことを示している。Fig. 10より、梨子地粉を使用した試験片における散乱光は黄色みが強いことから、この現象は、梨子地粉を使用した試験片では黒変した上摺り漆がほとんど残っていないことにより、表層に近い金粉からの鏡面反射光が黄赤系の漆層を透過して見えているために発生しているといえる。ところで、この梨子地粉を使用した蒔絵の塗膜構造に酷似するメタリック塗装がすでに開発されている<sup>12)</sup>。開発されたメタリック塗装では、下層のアルミフレークで反射した光が上層の着色された半透明層を透過して出射することで、鮮やかで深みのある質感を実現している。このメタリック塗装と同様な現象が生じていると考えれば、梨子地粉を使用した試験片における散乱光の鮮やかさが説明できる。漆層内部からの、深さと方向がランダムな鏡面反射光の存在が、梨子地漆の色みを鮮やかで深みのあるものにさせるからである。

梨子地粉を使用した試験片における表面に露出した部分の金粉の形状は、Fig. 13 (a) に示したように細長いものが多く、さらに (b) に示したように金粉がしわになり、

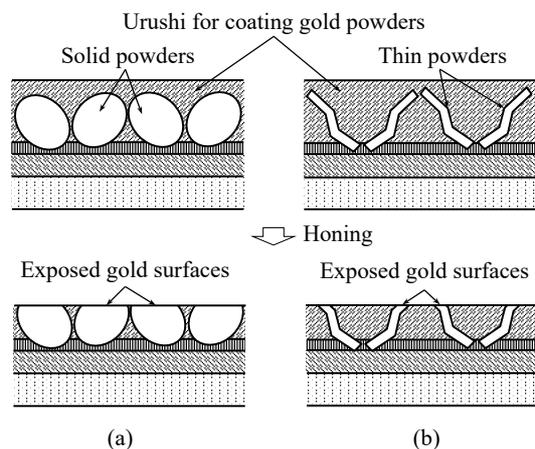


Fig. 14 Simplified illustration of *makie* cross section. As the surface is honed, the area of exposed gold surface becomes larger in the solid powders than in the thin powders. (a) In the case of solid powders, (b) in the case of thin powders.

凹凸のある複雑な形状となっているものも局所的に存在していた。これら金と漆との境界面の微細で複雑な凹凸部で反射した散乱光は、鋭い光輝点として観察される。これが梨子地粉を使用した蒔絵のみで知覚できる光輝感の原因と考えられる。ところで、光散乱性媒質においては、媒質表面の位置を観察者に認識させることで奥行き感をより強く感じさせることができるという報告がある<sup>13)</sup>。このこともあわせて考えると、梨子地粉を使用した蒔絵では、表面に露出した金と漆との境界面の、微細で複雑な凹凸部において反射した散乱光による鋭い光輝点の存在が、一般的なメタリック塗装とは異なるより強い奥行き感の発生要因となり得る。

丸粉と梨子地粉とで表面に露出している金粉の形状に差異が発生する要因を、Fig. 14 を用いて説明する。Fig. 14 は、蒔絵の製法における研磨工程の前後の模式的な断面図である。丸粉を使用した蒔絵では研磨量に応じて表面に現れる金の面積が増大するが、梨子地粉を使用した蒔絵ではほとんど変化しない。このときの表面を観察すると、丸粉では露出した金粉の形状が円形に近似して見えるが、梨子地粉では細長形状に見える。これは Fig. 11 に示した実際の金粉の露出面の形状と一致している。さらに Fig. 14 の研磨後の状態において研磨面の方向から観察すると、梨子地粉を使用した蒔絵のほうが、漆層に沈んでいる金粉が見える領域が広がることもわかり、これも Fig. 11 とよく一致している。

## 7. おわりに

本研究では、蒔絵の技能伝承の一助とするための研究の第一段階として、蒔絵の光学特性を分析した。実際の蒔絵

作品と同様の工程で試験片を製作し、分光測色計による色彩評価とデジタル顕微鏡による観察を行った。それらの結果から、以下の知見が得られた。

- (1) 蒔絵における正反射光は、表面に露出している金粉からのものが主である
- (2) 丸粉を使用した蒔絵では、表面に露出している金粉が多いことと、黒変した上摺り漆のために、金属面に近い見え方になる
- (3) 梨子地粉を使用した蒔絵では、漆層に沈んでいる金粉からの鏡面反射光が強いため、梨子地漆の色みが鮮やかに深みを伴って現れる
- (4) 梨子地粉を使用した蒔絵では、表面に露出した金と漆との境界面の微細で複雑な凹凸部において反射した散乱光が、鋭い光輝点となって点在して見える

これらの知見より、蒔絵では表面の一部に金の研磨面が露出しているうえ、漆の黒色や、漆層に沈んでいる金粉が梨子地漆を透過して見えることが、一般的なメタリック塗装やパール塗装にはない蒔絵に特徴的な現象であるといえる。今後は、丸粉を使用した蒔絵と梨子地粉を使用した蒔絵の製作工程の違いによる漆の層構造の違いが、色彩におよぼす効果について解明する予定である。

本研究の実施にあたり、濱田泰以氏（元京都工芸繊維大学教授）と遠藤淳司氏（元京都工芸繊維大学院生）に伝統工芸に関する情報提供を受けたことを付記し、両氏に謝意を表す。また本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費基盤研究（C）（一般）18K11513 による助成を受けて実施されたものである。

## 文 献

- 1) A. Garcia-Valenzuela, F. L. Sant'Anna Cuppo, J. Alberto Olivares and J. M. Galvan-Miyoshi: *Opt. Eng.*, **50** (2011) 053602.
- 2) S. Ignell, U. Kleist and M. Rigdahl: *Color Res. Appl.*, **34** (2009) 291-298.
- 3) J. M. Medina and J. A. Diaz: *Opt. Eng.*, **52** (2013) 051202.
- 4) 瀬戸口俊一：塗装工学, **40** (2005) 475-480.
- 5) E. Kirchner, G. Van den Kieboom, L. Njo, R. Super and R. Gottenbos: *Color Res. Appl.*, **32** (2007) 256-266.
- 6) D. Benavente, F. Martinez-Verdu, A. Bernabeu, V. Viqueira, R. Fort, M. A. Garcia del Cura, C. Illueca and S. Ordonez: *Color Res. Appl.*, **28** (2003) 343-351.
- 7) M. Elias, L. Simonot, M. Thoury and J. M. Frigerio: *Opt. Commun.*, **231** (2004) 25-33.
- 8) M. E. Nadal and E. A. Early: *Color Res. Appl.*, **29** (2004) 38-42.
- 9) 山下怜子：色を表現するために。大阪府立産業技術総合研究所 Technical Sheet, No. 16008 (2017).
- 10) 山崎論志：塗装工学, **40** (2005) 326-332.
- 11) 永野裕幸：色材協会誌, **78** (2005) 372-376.
- 12) 中野さくら, 久保田寛, 篠田雅史：マツダ技法, **30** (2012) 83-87.
- 13) 山田 純, 神 佳弘, 岡本 諭：日本機械学会論文集, **81** (2015) No. 15-00218.