

論文

黒漆膜、および黒合成樹脂塗膜の質感と表面反射特性の関係

Relation of Light Reflection to Visual Texture on Black Coating Films of Urushi (Japanese Lacquer) and Various Synthetic Resins

李 沅貞	Wonjoung Lee	大阪市立大学	Osaka City University
佐藤 昌子	Masako Sato	大阪市立大学	Osaka City University
阿佐見 徹	Toru Asami	京都市工業試験場	Kyoto Municipal Institute of Industrial Research
大藪 泰	Hiroshi Oyabu	京都市工業試験場	Kyoto Municipal Institute of Industrial Research
富永 昌治	Shoji Tominaga	大阪電気通信大学	Osaka Electro-Communication University

Abstract

The purpose of this research is to investigate the visual texture differences between the surfaces coated black glossy films by Urushi (Japanese lacquer) and various synthetic resins such as cashew, polished cashew, polyurethane, acrylic lacquer and polished acrylic lacquer. Those films were prepared on the wood substrates by professional technician. The test piece of Urushi was the polished and glossy one that was specially named "Roiro".

Ranking examination on the test pieces were studied by two groups of subjects skilled in Urushi experience using six words on texture; "Fukami", "Mukkuri", "Warm", "High quality", "Blackness" and "Glossy". The characteristics of light reflection on the test surfaces were measured using gonio-photometer and spectral photometer on the various conditions of incident/receive light angles. The relations between texture and light reflection were discussed.

The ranked data were analyzed on k-sample test of independence among six pieces on six texture words respectively, two-sample test of independence between two texture words and two-sample test of independence between subject groups.

Differences of the texture evaluation between two subject groups were proved by the ranking examinations on the texture of "Fukami"*, "Mukkuri"*, "Warm", "High quality", "Blackness" and "Glossy". It was investigated that the most resembled resin to the Urushi would be the polished cashew on the both characteristics of texture and light reflection. Urushi was also examined the most complicated reflection. It might be caused by complex ingredients and coating process of the Urushi.

*"Fukami" means as if the reflected light comes from the deep layer of film.

**"Mukkuri" means that the surface looks soft and voluminous as if it is sufficiently coated with lacquer.

Keywords: texture, Urushi (Japanese lacquer), cashew, synthetic resin, light reflection

要 旨

本研究は黒漆膜と黒合成樹脂塗膜を用い、それらの間にはどのような質感の違いがあるのかを明らかにすることを目的としている。ロイロ仕上げの漆膜と、カシュー、カシュー磨き、ポリウレタン、アクリルラッカー、アクリルラッカー磨きなどの漆類似合成樹脂塗膜との比較から、塗作業に関わる職人の目を通して見た質感評価と表面反射特性との関係について検討した。「深み感」「むっくり感」「あたたかみ感」「高級感」「黒み感」「つや感」の質感評価項目に対する試料の順位実験から経験による被験者群間での質感評価の違い、質感項目間の関係について明らかにした。漆に最も類似した質感を有する材料は、カシュー磨き試料であり、光学的反射特性も他の試料に比較して類似性が高いことが明らかになった。しかし、漆は最も複雑な反射特性を有することも明らかになり、それは漆工程における塗漆膜形成の複雑さに起因することが推定された。

キーワード：質感、漆、カシュー、合成樹脂塗膜、表面反射特性

1.はじめに

幾何学的構造によって表面の色や光沢を制御し、今までにない質感、高級な質感を表現しようという試みは、近年、自動車、家具、家電品、種々の生活用品などの塗装分野において特に注目されている¹⁾。塗装表面は、基質面に膜構造を塗付することによって出現する新たな表面であり、塗膜中に含まれる顔料の分散状態、および、塗膜膜厚さなどの変化によって光学特性が種々に変化する。表面物質が変われば光の屈折率が変わり、膜厚によっては光の干渉作用の影響を受けることもあり、色材分子の発色機構(分子吸光係数)、粒子形状による散乱係数とその光学的異方性など、塗膜制御には非常に複雑な要因が含まれている。云いかえれば、基質とは全く異なる新しい表面を表面制御によって作り出しうる無限の可能性があるということであり、興味を持たれる所以でもある。

漆は、塗膜構造を有する表面としての歴史が古く、膜表面の美しさにおいて現代もなお理想的な表面に例えられる。漆は、ウルシノキから滲み出る樹液を採取精製したもので、樹液は乳白色をしたW/O型エマルジョンで、その成分はウルシオール(60~70%)と水(20~35%)、水溶性多糖類(5~10%)、糖蛋白(1~5%)、および乾燥に寄与するわずかな酸化酵素ラッカーゼからなる。漆を塗布するとラッカーゼが空气中酸素の存在下で、ウルシオールを酸化重合させて乾燥し、硬化漆膜が形成される。ウルシオールの乾燥過程はラッカーゼの酵素反応過程でもあり、漆風呂(ムロ)と呼ばれる高湿度乾燥室において乾燥される。また、塗漆工程は産地によって多少異なるものの、木地から下地さらに塗りへの工程は数十回を数え、最終のロイロ仕上げと呼ぶ独特の磨き仕上げを行う場合も多い。

本実験では、黒漆を試料としている。黒漆の黒色は精漆工程において鉄を加えることによって主成分ウルシオールと鉄が反応生成したウルシオール鉄錯塩の色である。一方、合成樹脂塗料では、カーボンブラックなどの黒色顔料をビヒクルに分散させて作成する。従って、漆の黒は黒の着色メカニズムが合成樹脂塗料のそれとは全く異なり、代表的な黒色という意味から「烏の濡れ羽色」「漆黒」と表現される²⁾。

漆は、その原料資源の希少価値(1本の樹から1年間に200g)、熟練性を要する下地-塗り-磨きの作業工程の複雑さなど、材料的にも完成までの製作時

間の長さにおいても、また、何よりも熟練を要する人材育成という点においても、コスト高になる要素を含み、現代では椀や盆などの日用品、茶道具や美術工芸品などの限られた部分での使用に絞られている。しかし、近年になって、漆に対して興味が高まりつつある。その理由として、理想といわれる漆膜の質感に対する興味が高まったこと、さらに、溶剤や熱エネルギーを使わない環境に優しい塗料として、塗装業界におけるVOC(揮発性有機化合物)対策など、環境に配慮した新しい塗料開発に期待がかけられていることによっている。

漆を取り巻く伝統工芸界に眼を転じると、漆器は石油二次製品の急速な普及により、プラスチックや合成樹脂塗料などを使用した漆類似商品が安価に回ったことによって生産・消費量の低下傾向が見られる。技と経験によって生み出され、伝統工芸の中で継承されてきた漆塗りの魅力は何に由来するのだろうか。その第一は漆膜の持つ高品位の質感に他ならない。そのため、漆膜に対するヒトの感性評価の関係を明らかにすることは、伝統工芸を守ることにとどまらず、新たな表面材料を開発していく上に重要な課題と考える。

そこで、本研究は漆の質感と表面反射特性との関係を解明することを目的として漆の代表的技術であるロイロ仕上げ漆膜を基本試料として用い、カシュー樹脂塗料(カシュー(株)、黒)を用いた塗立て、およびその磨き仕上げ膜、ポリウレタン樹脂塗料(大日本塗料(株)、Vトップ、黒)の塗立て膜、アクリルラッカー樹脂塗料(ロックペイント(株)、38ライン、黒)の塗立て膜、およびその磨き仕上げ膜の合成樹脂塗膜5種との比較をおこなった。以後、これらの試料をカシュー、カシュー磨き、ウレタン、ラッカー^{注)}、ラッカー磨きと称する。これらの合成樹脂塗膜5種表面は、一般に高い光沢性を持ち、その表面特性は似通っているため、材料特性の面から光学的特徴量について検討している論文は少ない。一方、産業の現場においては、経験に基く視覚感性情報を頼りに質感判断が中心となっている。言い換えれば、それら試

^{注)} ラッカーには、アクリルラッカーの他にニトロセルロースラッカーがあるが、ニトロセルロースラッカーは、アクリルに比べて用途範囲や安全性に問題があるため、本報では一般的に用いられる透明性の高いアクリルラッカーを用い、単にラッカーと称することにする。

料間の質感の違いを識別するのは、最終的には光情報としてヒトの視覚的質感と言える。本報では、塗漆作業に関わる、専門的立場の人を被験者に、漆膜と合成樹脂塗膜5種の質感評価を行い、その評価値と物理的反射特性との関係について検討し、興味深い知見を得たので報告する。

2. 実験

2.1. 試料作成

用いた実験用試料は、漆を含め計6種である。形態による影響を出来るだけ除外するため、平板状のシナ合板（タテ90mm×ヨコ90mm、厚さ9mm）を基質としてその表面に種類の異なる塗膜面を作成した。一般に塗漆工程は大別すると①木地調整—②布着せ後へらで下地漆を施す下地工程—③刷毛を用いた塗漆工程の三つの工程²⁾によって作成される。③の塗漆工程では刷毛を用いて漆を数回繰り返し塗り、漆膜層を形成する。また、光沢のあるロイロ仕上げ漆膜は、漆塗り塗面を炭で平滑に研磨した後「摺り漆—磨き」を3回繰り返しロイロ磨きを行って、漆独特の光沢のある塗膜に仕上げる。本実験に用いた漆膜は、実験用手板として作成したものであるが、京都の伝統的な塗漆工程に基づき作成し、上塗り研磨後にロイロ磨きを3回繰り返し行って作成したロイロ仕上げ漆膜である。

漆と比較するための塗膜仕上げサンプルとしては、カシュー、カシュー磨き、ウレタン、ラッカー、ラッカー磨きの計5つを作成した。これら手板は、ポリエステルパテで下地を施し研磨後、それぞれの合成樹脂塗料をエアースプレーにて2回塗布し作成した。カシュー磨き、ラッカー磨きについては、塗膜形成後、ポリシングコンパウンドを用いて磨き仕上げを行った。JIS Z 8722^{1) 1994}の物体色の測定に規定されている条件（試料面に対して法線方向から照明し、45°方向から観察）³⁾下での測色値Y (%)は、下記の通りであった。

試料	Y(%)
漆	0.07
カシュー	0.01
カシュー磨き	0.02
ウレタン	0.11
ラッカー	0.62
ラッカー磨き	0.71

いずれの試料も黒と見える表面であるが、視感反射率Y (%)の値にわずかの違いが認められる。

2.2. 視感評価実験

2.2.1. 視感評価者（被験者）

6種の試料は、一見では極めて類似しているため微妙な違いを識別できる眼をもった被験者が必要である。そこで、視感評価実験の被験者には、塗漆に関わっている人という条件で依頼し、計39名の協力を得た。全被験者の評価データを、塗漆に対する経験年数から2つの群に分けて解析することとした。

①第1群13名：塗漆歴16年以上の漆工芸の専門家。いずれも男性。

②第2群26名：漆職人を目指す京都市工業試験場研修生（経験歴9ヶ月以上7年未満）、いずれも女性8名、および、漆工芸を専攻する京都市立芸術大学学生、男性7名、女性11名。

本報では、第1群をプロ職人、第2群を準職人と称することにする。

2.2.2. 評価項目

本研究では、各種漆膜に対する質感評価研究を行った阿佐見の研究^{4) 5)}を参考に、「深み感」「むっくり感」「あたたかみ感」「高級感」「黒み感」「つや感」の6つの評価尺度に注目し用いることにした。「深み感」「黒み感」「つや感」は、あきらかに光学的特徴量との関係が考えられる。一方、「むっくり感」「あたたかみ感」は、漆独特の触感覚量も含んだ肌合い感との関係が考えられる。しかし、視覚から得られる情報源は表面からの光学的反射特性であり、「むっくり感」「あたたかみ感」も、微妙な反射光の質的特徴量を測定する項目と考え、本研究の目的から採用することにした。

2.2.3. 評価方法

前述のように、6つの試料間の違いは微小である。そこで、まず、視感評価によって試料間に独立性が成り立つかどうか（試料間に差があると言えるかどうか）を明らかにするため、それぞれの評価項目別に、並べ替えによる順位実験を行い、フリードマン(Friedman)の順位一致性の検定⁶⁾を行うとともに、スピアマン(Spearman)の順位相関係数⁶⁾を求め、評価項目間、ならびに被験者群間の一致性を検定した。次に、フリードマンの一致性の検定結果が $\alpha > 0.05$

以上で有意と検定された（試料間の違いを順位付けることができる）と判断された）試料と評価項目について、シェッフェ(Scheffé)の対比較法⁶⁾による実験を行い、試料間の順位を推定し、検定した。対比較の方法は全試料をランダムに見せ、左の試料を基準として右側の試料について、-3~+3の7段階上のスケールに該当する場所に○を付けてもらう方法で一人の被験者が一対ずつ（4試料の組合せ数6×左右逆転2）計12回の比較評価を行った（浦の変法）。被験者は第2群の中の漆工芸研修生8人である。

評価実験は、第1群、第2群の被験者が、日常的に漆に接しているそれぞれの場所で行った。すなわち、第1群については、各人それぞれの漆工房において、第2群については、研修室あるいは作業室において実施し、実験者が被験者に1対1で対面方法により行った。いずれも昼間の作業室（蛍光灯の下）において、被験者が試料を手にとって自由に見てもらう方法を採用した。

2.3. 試料の表面反射特性の測定

2.3.1. 自動変角光度計による試料面の反射光強度の測定

漆表面の光学的特徴量は、「つや」や「光沢」と称せられる反射光強度の角度依存性が考えられる。そこで、被験者が試料間の違いを識別する光学的特徴を明らかにするため、試料の反射光強度の変化を村上色彩技術研究所(株)製の自動変角光度計GP-200型により測定した。被験者が試料間の違いを見ている状況を考え、試料面への光の入射角度と受光角度（眼の受光角度に対応）を種々に変化させた場合の試料の反射光強度を計測した。測定条件は、試料面の法線に対して15°、30°、45°、60°入射し、それぞれ受光角を-75°~90°まで変化させた場合、および、それぞれの入射角、受光角の組合せ条件下において試料面を傾斜させ、「あおり角」を付けた場合の測定を行った。「あおり」という測定条件は、被験者が試料面を見る場合、試料面に対する光の入射条件、眼の受光角が一定で、試料面を左右に傾けて見ている状態に相当する。それぞれの入射、受光角の組合せ条件で、あおり角2°、3°について測定した。自動変角光度計による反射光強度の感度はホトマル印加電圧調節によって行う。従って、同じ感度の下で測定した2つ以上の試料間の相対比較値である。また、測定に用いる照明光源はハロゲンランプ(12V50W)である。

2.3.2. 変角分光測色システムによる試料面の色の測定

試料は黒色であるが、膜構造に由来する拡散光成分の影響、すなわち、表面色の角度依存性の存在が予想される。被験者が試料に対する微妙な色の変化をどのようにとらえるのかを明らかにするため、村上色彩技術研究所(株)製の変角分光測色システムGCMS-4型を使用し、入射角度と受光角度を三次元的に変化させ、以下の条件で反射光の分光分布を計測した。反射光強度測定の計測と同様、試料面の法線に対して15°、30°、45°、60°入射し、それぞれ受光角を-75°~75°まで変化させた場合の分光学的変化(390nm~730nm)を、標準白色板を基準にして測定した。本装置では、試料固定台とランプハウス部分が規定角度設定に対して可動し、受光部が固定されている。コンピュータ入力により、入射角度、受光角度を設定することにより、試料固定台とランプハウスが設定条件まで移動したのち、分光測色する。反射光強度の測定と同様に、入射角/受光角の組み合わせ条件下における「あおり角」の付加が、表面の色度変化に及ぼす影響について検討した。

3. 結果と考察

3.1. 形容詞尺度による主観評価

3.1.1. 順位評価実験からみた質感評価の一致性

6つの評価項目ごとに6つの試料を○○に見える（例えば、「黒み感」が感じられる）順に並べてもらった順位結果と、その検定結果をそれぞれ被験者別に表1（第1群）、表2（第2群）に示す。群間で被験者数が異なるため、生データの順位和を被験者数で除した平均順位和と、その検定結果をまとめ列挙している。表から明らかなように、プロの職人においても準職人においても、「黒み感」、「つや感」、「深み感」、「高級感」の各項目に対しては、被験者間（被験者評価生データ、原表省略）において、試料間に順位の一致性が認められ（ $\alpha > 0.05$ ）、被験者が何らかの視覚情報から順位判断しているという結果が得られた。しかし、「あたたかみ感」と「むっくり感」の評価項目に対しては試料間に一致性があると言えない。これらの評価項目には漆器の立体形状、肌合いや表面粗さに関わる仕上がり度合い、試料の縁側の盛り上がりなど、広い範囲での因子が考えられる^{7~10)}。両被験者群とも試料間に一致した順位の違いを認識することができない。

表1 評価順位の一致性の検定 順位和(平均値)とフリードマンの検定結果(第1群)

 $n=6, k=13$

	カシュー	カシュー磨	漆	ウレタン	ラッカー	ラッカー磨	$\alpha > 0.05$
黒み感	1.85	2.62	3.15	2.54	5.31	5.54	*
つや感	1.46	2.46	3.00	3.62	5.38	4.92	*
深み感	2.46	2.31	2.92	4.08	4.92	4.31	*
高級感	2.85	1.54	3.23	4.85	4.15	4.38	*
あたたかみ感	3.23	3.38	4.31	3.69	2.62	3.77	
むっくり感	3.31	2.69	3.85	3.62	3.92	3.62	

表2 評価順位の一致性の検定 順位和(平均値)とフリードマンの検定結果(第2群)

 $n=6, k=26$

	カシュー	カシュー磨	漆	ウレタン	ラッカー	ラッカー磨	$\alpha > 0.05$
黒み感	1.15	3.04	3.00	2.81	5.35	5.65	*
つや感	1.23	2.85	3.27	3.31	5.15	5.19	*
深み感	1.81	2.65	2.77	3.27	5.46	5.04	*
高級感	1.77	2.73	2.92	3.54	5.15	4.88	*
あたたかみ感	3.15	4.04	3.50	3.19	3.92	3.19	
むっくり感	3.77	2.73	3.50	3.38	4.04	3.58	

そこで、上記4つの評価項目の質感評価において、相互に関係があると言えるかどうか、言い換えれば、被験者が「黒み感」、「つや感」、「深み感」、「高級感」のそれぞれの評価において、相関関係の一致性、あるいは評価項目間に相関があるといえるのかどうかを平均順位和を用いて、スピアマンの順位相関係数を求め、その検定を行った。結果を表3に示す。第1群についてみると、「黒み感」と「つや感」および「つや感」と「深み感」にそれぞれ0.5%以上の有意水準で相関が認められると判定され、プロは、「黒み感」と「つや感」、「つや感」と「深み感」を類似の質感と捕らえている。一方「黒み感」と「高級感」、「つや感」と「高級感」、「深み感」と「高級感」の間には相関性が低く、プロは「高級感」を別個のパラメータ^{注)}で評価していることが推定される。一方、第2群の判定結果についてみると、いずれの組合せ間においても0.5%以上の有意水準で一致性が認められる。したがって、熟練度の低い第2群では、「黒み感」、「つや感」、「深み感」、「高級感」をほぼ同義の質感としてとらえており、第1群と比較すると、質感のとらえ方に未分化の傾向が認められる。

次に、第1群と第2群の質感評価において一致性が認められるのかどうか、群間の相関性について、スピアマンの順位相関係数を求め検定した。結果を表4に示す。「黒み感」、「つや感」においては、両群間で

表3 スピアマンの順位相関係数とその判定結果 (片側検定)

第1群 $n=6, k=13$

	黒み感	つや感	深み感	高級感
黒み感	-	0.950 >0.5%	0.870 >2.5%	0.709 >5%
つや感	-	-	0.948 >0.5%	0.824 >5%
深み感	-	-	-	0.942 >1%
高級感	-	-	-	-

第2群 $n=6, k=26$

	黒み感	つや感	深み感	高級感
黒み感	-	0.982 >0.5%	0.965 >0.5%	0.953 >0.5%
つや感	-	-	0.979 >0.5%	0.984 >0.5%
深み感	-	-	-	0.994 >0.5%
高級感	-	-	-	-

注) プロ職人による順位評価実験において、本実験で用いた6つの評価項目の他に表現として発せられた用語を採取した記録によると、特に漆に対しては、好き、上品な、味わい深い、重々しい感じ、肉持ち感、厚み感、しっとり感、仕上げの面精度、面の平滑性などの用語があった。定量的に求めた結果ではないが、これら「漆における高級感」を総合した複合的質感として評価しているのではないかと考える。

評価順位がほぼ（0.5%の有意水準）一致し、視覚評価に経験年数の影響が少ないと言える。

3.1.2. 一対比較実験による試料の質感順位

表1、表2からも明かなように、ラッカーとラッカー磨き試料は、その順位得点において他の4試料とは大きく異なっている。前述の基本的表面色データにおいてもこれらの試料はその他の試料とは、微小ながらも違いが認められる。この違いを被験者の眼は捉えているのであろう。そこで、ラッカー、ラッカー磨き試料を除き、カシュー、カシュー磨き、漆、ウレタンの4つの試料間をより詳細に検討するため、一対比較実験を行った。順位付け実験の結果を参考に、「深み感」、「黒み感」、「高級感」、および、プロ職人の多くが漆工芸品に求める質感として挙げていた「あたたかみ感」の形容詞項目を加え、合わせて4つの形容詞対に対してSchefféの一対比較法（浦の変法）⁶⁾を行った。評価結果の得点を分散分析した結果を表5に示す。

「深み感」、「黒み感」、「高級感」、の評価項目に対しては、主効果は1%の高い水準で有意であり、また、「あたたかみ感」においては5%水準で有意と認められる結果となった。いずれにしても、被験者は、試料間の違いを識別しているという結果が得られた。この結果は、前述の順位づけ結果に対応している。「あたたかみ感」については、一対比較することによって質感が判定しやすくなったと言える。しかし、主効果と被験者（個人）間の相互作用が認められた「深み感」（1%水準）、「高級感」「あたたかみ感」（5%水準）では、主効果評価判断が被験者によって異なるという結果を表している。また、「黒み感」「高級感」「深み感」の項目においては、順序効果も有意と判定され、試料提示順序の影響を受けている。そこで、4つの評価項目のそれぞれについて、4試料の主効果尺度図を図1に示し、試料間で比較することにする。「深み感」「黒み感」、「高級感」については、カシューを最も高く評価していることが明らかになり、その他の試料間では、ヤードスティック（Y）信頼区間（0.01%、および0.05%）に基き判定した結果をまとめ、図中に示している。注目すべきことは、いずれの評価項目についても、試料②（カシュー磨き）と、試料③（漆）の主効果が近似しているということである。

3.2. 試料の光学的反射特性

表4 被験者群間の評価の一致性

黒み感	0.978 >0.5%
つや感	0.986 >0.5%
深み感	0.942 >1%
高級感	0.839 >2.5%

表5 分散分析表

深み感				
	平方和	自由度	不偏分散	F
主効果	65.09	3	21.70	**
主×個人	75.16	21	3.58	**
組合せ効果	0.47	3	0.16	
順序効果	4.59	1	4.59	*
順序×個人	9.82	7	1.40	
誤差	57.86	61	0.95	
総平方和	213	96		

黒み感				
	平方和	自由度	不偏分散	F
主効果	147.41	3	49.14	**
主×個人	28.84	21	1.37	
組合せ効果	5.47	3	1.82	
順序効果	5.04	1	5.04	*
順序×個人	9.46	7	1.35	
誤差	47.78	61	0.78	
総平方和	244	96		

高級感				
	平方和	自由度	不偏分散	F
主効果	122.03	3	40.68	**
主×個人	44.72	21	2.13	*
組合せ効果	1.47	3	0.49	
順序効果	7.04	1	7.04	*
順序×個人	12.29	7	1.76	
誤差	50.45	61	0.83	
総平方和	238	96		

あたたかみ感				
	平方和	自由度	不偏分散	F
主効果	9.81	3	3.27	*
主×個人	41.69	21	1.99	*
組合せ効果	4.31	3	1.44	
順序効果	1.5	1	1.50	
順序×個人	4.17	7	0.60	
誤差	34.52	61	0.57	
総平方和	96	96		

3.2.1. 反射光強度の角度依存性—変角光度計による測定結果

一般に漆の塗り物に対するイメージは、つやのある美しいものと言われるが、単に光沢の強さを意味するものではなく、つやの質¹⁾ではないかと考える。そこで、漆器の最大の特徴である「つや」の質を光学的に分析するため、変角光度計による試料の反射

特性を検討した。まず、試料面に対し入射角を15°、30°、45°、60°に規定し、受光角度-75°～90°の反射光強度を1°間隔で測定した。JIS K 5600-4-7:1999に準じ¹²⁾、入射角60°、受光角60°近辺を中心に報告する。図2は、入射角60°、受光角60°近辺での反射光強度の測定結果を示している。なお、正反射に基く光沢度（鏡面光沢度）の基準表面として、標準ガラス（屈折率1.567）も同様に測定し、比較のために図中に示している。正反射光のピーク角度は、いずれの試料においても受光角60°で認められ、ピークの最大反射光強度については、ラッカーが最も高いが試料間に大きな違いが認められない。一方、15°、30°、45°入射の受光角度の影響については、図を割愛しているが、60°入射の傾向とほぼ同様に、いずれの試料もそれぞれの正反射角度でピークを示し、また正反射より1°程度小さい、あるいは大きい受光角度において、漆が他試料と比較して高い反射光強度が認められる。また、それぞれの正反射光におけるピーク高さにおいても60°の場合と同様に、微少差ではあるが、カシューが最も高くウレタンは低いという結果が得られている。

また、試料面にあおり角を付けて測定すると、図3は、あおり角度2°、および図4は、あおり角3°の結果を示している。あおり角を0°（あおりを付けない場

合というのは、前述の図2に相当）から、2°、3°と角度を付けていくと、図に見られるように、漆は他の試料と比較して高い反射光強度を示し、2°よりも3°とあおり角が大きくなると曲線がブロードになる。なお、本測定値は、前述のように、ホトマル感度により試料間の相対比較を示すものであるので、2°、3°とあおり角を付けることにより、反射光強度の絶対値は急激に減少し、ピーク高さも低下するので、0°、2°、3°とあおり角を大きくするほど、ホトマル感度を

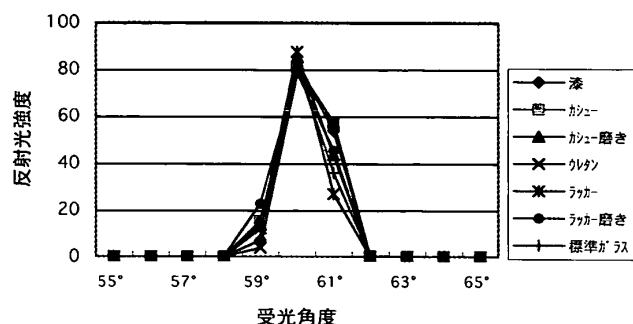


図2 受光角度が反射光強度に及ぼす影響
60° 入射、あおりなし / 55°～65° 受光

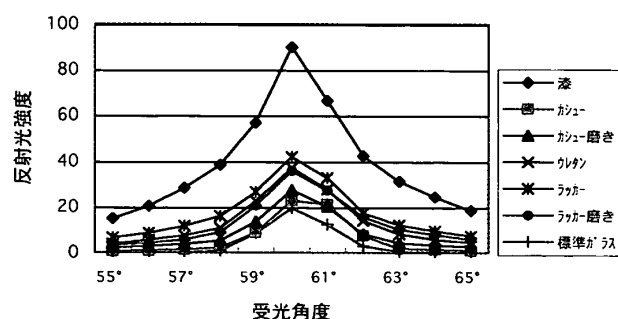


図3 受光角度が反射光強度に及ぼす影響
60° 入射、あおり2° / 55°～65° 受光

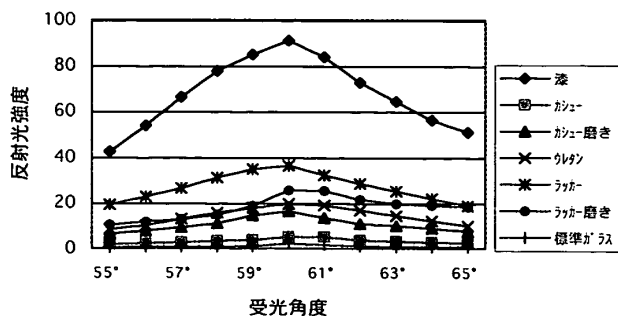


図4 受光角度が反射光強度に及ぼす影響
60° 入射、あおり3° / 55°～65° 受光

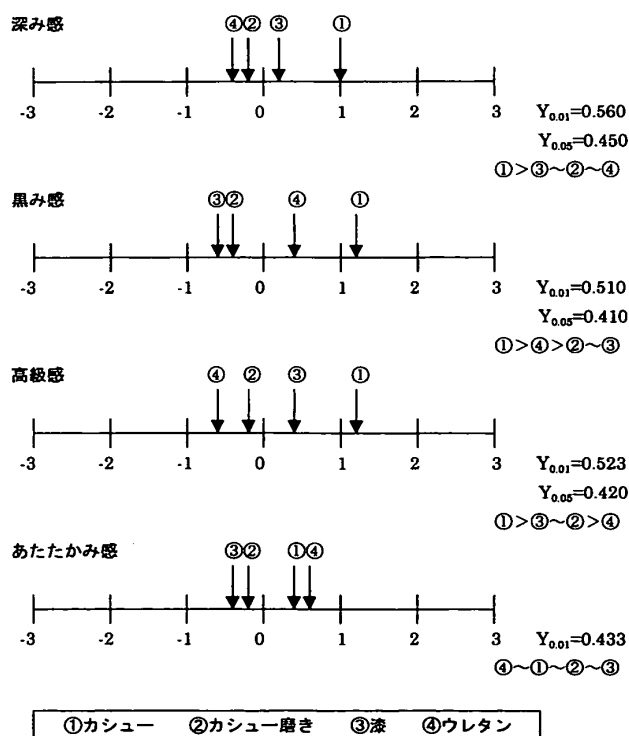


図1 主効果評定値の尺度図

大きくして測定した結果を示している。あおり角が大きくなるほど漆膜と合成樹脂塗膜の試料間の違いがより明確になることが明らかになった。これらの図は、入射角／受光角の正反射角度条件における拡散反射光の特性を捉えていると解釈される。したがって、屈折率1.567の標準ガラスではあおり角が付くと鏡面反射光がなくなり、いずれの受光角度においても0に近い値を示している。試料間、特に漆と合成樹脂塗膜における曲線の違いは、塗膜の屈折率の違いを示唆する。但し、漆膜のロイロ仕上げは、前述のように、層を重ねるという方法で作成されたものであり、他の合成樹脂塗膜との大きな違いがある。したがって、試料間における曲線の違いは、塗膜の屈折率だけに起因するのではなく、多層膜の均一性や平滑性など他の要因の寄与も推定される。

他の入射角／受光角の組み合わせ条件におけるあおり角度の影響についても同様に、漆が他の試料とは異なり、高い反射光強度が観測された。以上の結果から、漆特有のつやは受光角度に捕われず常に光沢が高いことが考えられる。

3.2.2. 表面色の角度依存性—変角分光測色計による測定結果

黒漆膜は鉄とウルシオール反応物によって膜が構成され、黒に着色された漆の樹脂層と考えられる。したがって、観る角度によって肉眼では単に「黒」として認識されるのではなく、漆層を通して「黒」を感じるため、カーボンブラックが分散した合成樹脂塗料の「黒」とは異なる色みの変化などが観測されるのではないかと予測される。変角分光測色計を用い、入射角15°、30°、45°、60°に対し、受光角をそれぞれ-75°から75°まで、5°間隔で変化させ測定した結果、反射光の分光分布に受光角の影響が見られた。また、鏡面反射光の影響を取り除くため、あおりを2°、3°付けて測定を行った結果、あおり角度によっても色度に変化が認められることが明かになった。結果を、 $L^*a^*b^*$ 表色系における L^* 、及び、 a^* 、 b^* 色度座標の変化として図5、図6、図7、図8に示す。

まず、明度をあらわす L^* について見ると、入射角15°、30°、45°、60°のそれぞれにおいて、受光角度に応じた L^* の変化が観測され、正反射光を捉えた図2の結果に、図形パターンは傾向が一致している。あおり角度を2°、3°と付けることにより、試料間の L^* 曲

線に差が認められるようになった。どの角度に対してもラッカー磨きは最も低く、カシュー、ウレタンで高い。入射角度が大きくなるにつれて、いずれの L^* 値も高くなり、60°の入射角度で60°の受光角度における L^* が最も高いピーク値を示す（図5）。他の入射角度の結果についても、図は割愛するが、ほぼ同様の結果であった。さらに、2°のあおり角を付けると、入射角15°、30°において L^* 最大値では、漆が高く、カシューが低い。また、入射角45°、60°では、ウレタンの L^* 最大値が最も高く、ラッカーで最も低い結果となった。3°あおりの場合では、漆がいずれの入射角度に対しても L^* 最大値は他の試料と比較して高く、カシューで最も低い L^* 値を示す（図6）。図1において、カシューの黒み感順位が一番であったことと関連する測定結果であった。

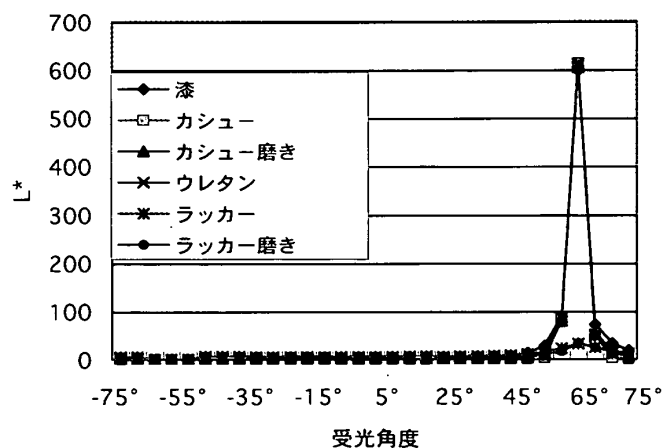


図5 受光角度が L^* に及ぼす影響

60° 入射、あおりなし / -75° ~ 75° 受光

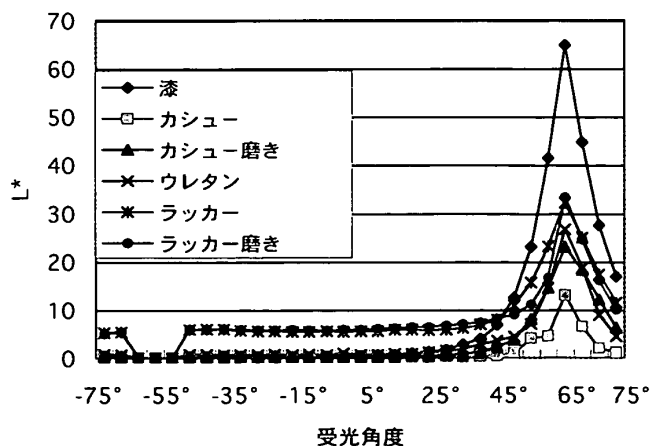


図6 受光角度が L^* に及ぼす影響

60° 入射、あおり3° / -75° ~ 75° 受光

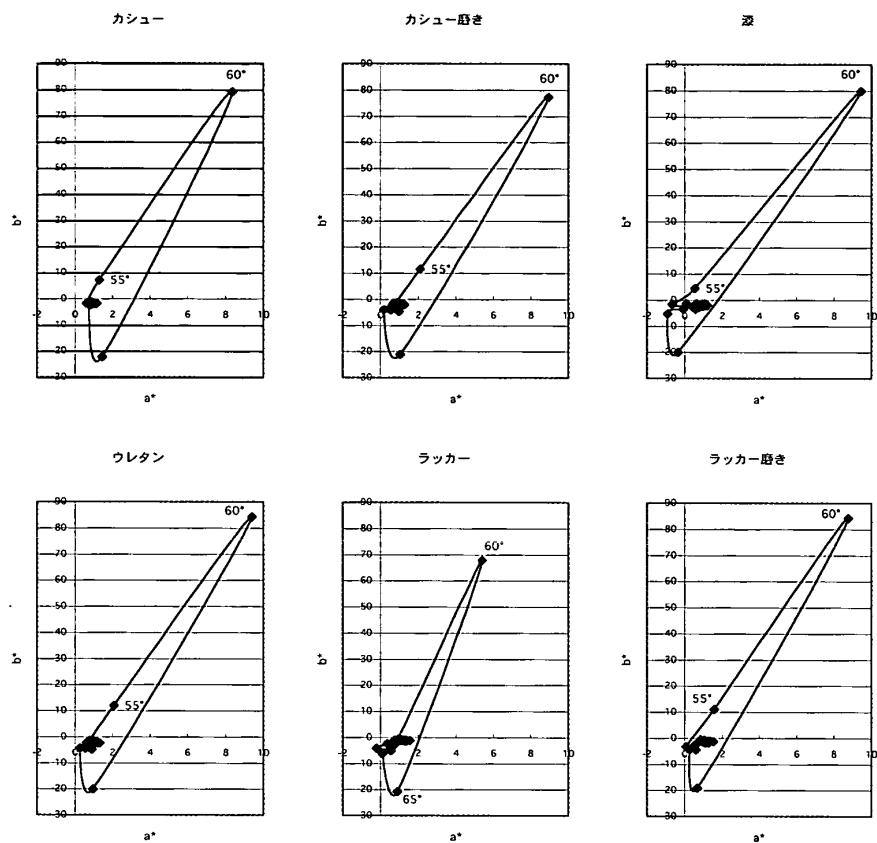


図7 試料表面色の a^*b^* 色度点の変化 60° 入射、あおりなし/ -75° ~75° 受光

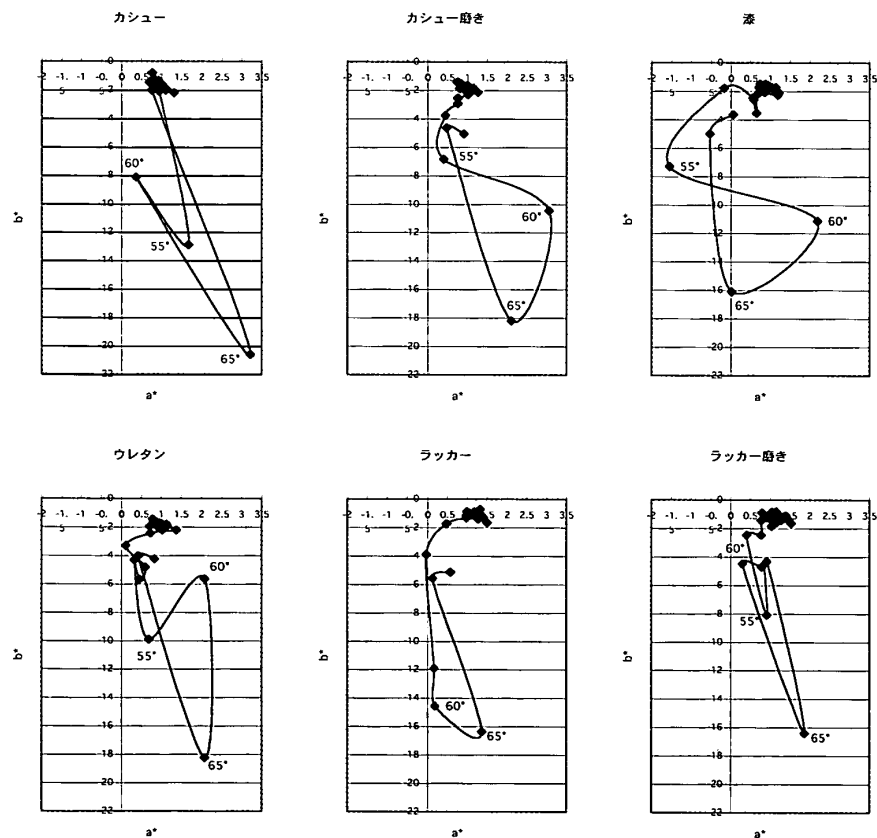
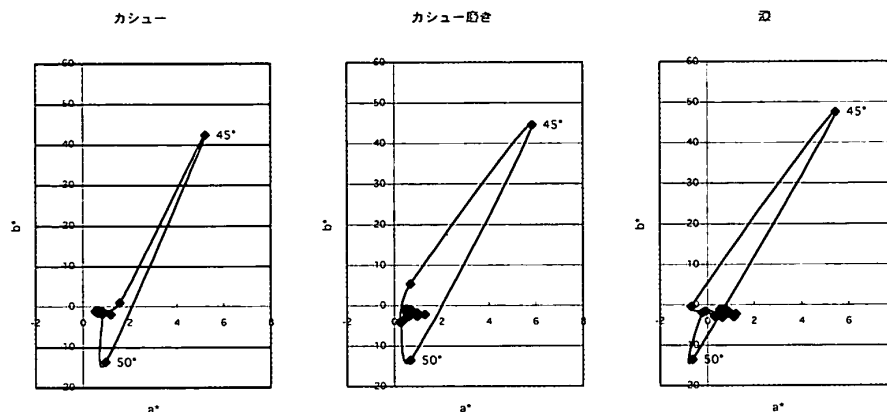
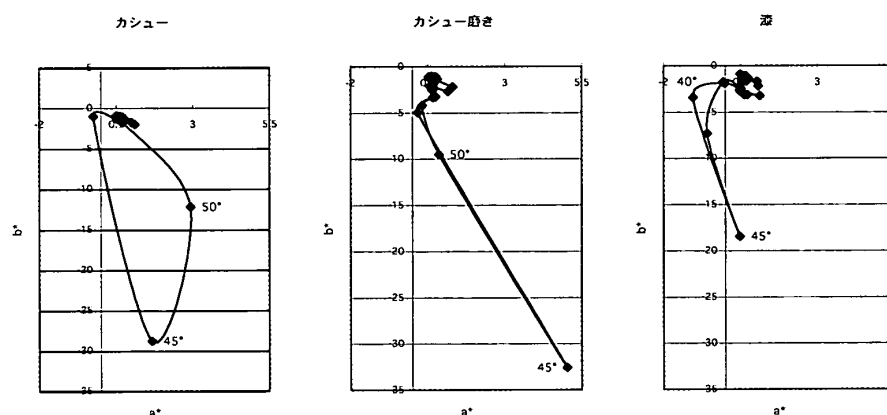


図8 試料表面色の a^*b^* 色度点の変化 60° 入射、あおり2° / -75° ~75° 受光

図9 試料表面色の a^*b^* 色度点の変化 45° 入射、あおりなし / -75° ~75° 受光図10 試料表面色の a^*b^* 色度点の変化 45° 入射、あおり2° / -75° ~75° 受光

次に、 a^*b^* 色度座標の変化についてまず、入射角 60° における受光角度の変化に応じた色度軌跡についてみると（図7）、いずれの試料も正反射角度に相当する受光角度60° の色度点は、赤みがかった黄色を示していて、その他の受光角度においては、色みのない原点付近に位置する。通常の表面が、正反射角度において鏡面反射光の影響によって色みのない原点付近にプロットが集中するのは異なる挙動であった。しかし、60° 入射、-75° ~75° 受光の光学条件における全試料の色度軌跡は非常に類似している。あおり角を付けない場合には、いずれの入射角度においても受光角の変化による色度軌跡のパターンは、全試料間で類似していた。

一方、あおり角度を付けて測定すると、試料間で受光角度の変化による色度軌跡はそれぞれ特徴的な曲線を描くことが明かになった。図8は、入射角 60° において、試料面にあおり角度2° を付け、受光角度を-75° ~75° に変化させた場合の色度軌跡を示している。いずれの試料も、色度の第4象限

赤みの青を呈し、漆では、色度の第3象限 青みの緑まで大きく色が変化していることが認められる。カシュー磨き試料の色度軌跡のパターンは、最も漆に類似している。

そこで、漆とカシュー磨きの2つの試料について、受光角度とあおり角の影響について比較してみた。図9に示すように、入射角45° においては近似した色度軌跡を示しているが、2° あおりを付けると（図10）60° 入射と同様に漆は色度の第3象限 青みの緑まで色の変化がやや認められた。また、カシューではあおりを付けることによってカシュー磨きとは明確に異なる色度軌跡を示す。

光沢のある塗装表面は、光学条件の変化に応じて複雑な色度変化が観測されることが明らかになり、その中でも、漆は最も角度依存性が高い表面であることが明らかになった。反射特性の複雑性が、微妙な質感を感じさせることと深く関わっているのではないかと推定される。また、漆にもっとも似ている反射表面はカシュー磨き試料であった。

したがって、図1に示した主効果尺度の類似性は、そのような反射特性を被験者が読み取った結果ではないかと考える。

カシュー樹脂塗料は、カシューの樹の実殻から抽出するカシューナットシェル液を原料とし、重合促進剤の共存下で酸化縮合重合させた塗料であり、有機溶剤も含む²⁾。原料は天然由来であるが、漆のように酵素反応系ではなく、取り扱いの簡便さのわりには漆調の肌合いを持つと評価され、漆の代用塗料や漆調塗料として広く利用されている。以上の結果から、合成樹脂塗料全般をさらに漆調に近づけるためには、漆に準じた仕上げ工程などを工夫することによって、あおり角を付けた時のやわらかい光沢と、微妙な色合い変化などを付与することができるのではないかと期待される。

4. おわりに

熟練を要する工芸の分野においては、熟練された職人でも、職人を目指して研修に励んでいる研修生においても、物体（工芸品）の構成材料、表面幾何学的特性、表面色など材料表面特性を、視覚をととして総合して評価している。優れた表面特性をもつと称される漆に注目し、黒ロイロ仕上げ漆膜と5種の黒合成樹脂塗膜を用い検討した。感性評価の結果、漆のロイロ仕上げに最も類似した質感を有する材料は、カシュー磨き仕上げ試料であり、光学的反射特性も他の試料に比較して類似性が高いことが明らかになった。しかし、漆は最も複雑な反射特性を有することも明らかになり、それらは黒漆膜の着色のメカニズムや磨き仕上げ工程の複雑さに起因することが推定された。

今後は、黒漆膜の着色のメカニズムや磨き仕上げ工程と質感との関係を明らかにするとともに新たな塗装膜の試みに活かしていくための研究が必要である。

謝辞

視感評価実験にご協力いただきました京都府在中の漆職人、京都市工業試験場の漆工芸研修生、および、京都市立芸術大学の漆研究室の方々に感謝の意を表します。

参考文献

1. 例えば、漆／進化する樹液、INAX出版（1995）

2. 寺田晁、小田圭昭、大藪泰、阿佐見徹：漆—その科学と実技—、理工出版社、pp85~87、pp173~185、pp122~125(1999)
3. JIS Z 8722¹⁹⁹⁴：JISハンドブック 色彩、日本規格協会、pp191~204（1996）
4. 阿佐見徹：漆塗膜の美しさについて—漆膜の質感—、第3回木材塗装ゼミナール、pp47~56（1992）
5. 阿佐見徹、大藪泰：漆塗膜に表面特性に関する研究、京工試研究報告、No.19、pp97~102（1991）
6. 新版官能検査ハンドブック：日科技連官能検査委員会、pp294~297、pp301~304、pp366~374（1978）
7. 李 沅 貞、佐藤昌子：テクスチャー知覚に関する研究—布を例として—、日本生理人類学会誌、Vol.3、No.4、pp27~34（1998）
8. Wonjoung LEE、Masako SATO：Visual Perception of Texture of Textiles、COLOR research and application、vol.26、No.6、pp469~477（2001）
9. 佐藤昌子、李 沅 貞：布の反射特性に関する三次元的解析—ヒトの眼からとらえる情報を明らかにするため—、繊維学会誌（繊維と工業）、Vol.56、No.11、pp323~328（2000）
10. 李 沅 貞：布の表面幾何学的構造と光反射特性に関する研究、日本色彩学会誌、Vol.24、No.3、pp140~145（2000）
11. 沢路雅夫：つやの質についての—考察—反射特性の微細構造—、応用物理、第29巻／第11号、pp789~795（1960）
12. JIS K 5600-4-7¹⁹⁹⁹：JISハンドブック 塗料、日本規格協会、pp308~315（1999）

（受付日：2002年7月17日）

著者紹介


 リー うえんじょん
李 沅貞

1967年11月3日生

2000年大阪市立大学大学院生活科学研究科後期博士課程修了。日本色彩学会、日本繊維製品消費科学会、日本生理人類学会。学術博士。現在、大阪市立大学研究生、大阪青山短期大学非常勤講師


 さとう まさこ
佐藤昌子

1941年3月4日生

1963年大阪市立大学家政学部被服学科卒業。日本色彩学会、日本家政学会、日本繊維学会、日本繊維製品消費科学会、日本照明学会、日本生理人類学会、情報処理学会、日本デザイン学会。

学術博士。現在、大阪市立大学大学院生活科学研究科教授。居住環境学分野の色彩科学、環境材料学の研究、教育に従事


 あさみ とおる
阿佐見徹

1949年6月1日生

1974年京都市立芸術大学美術学部工芸科卒業。1975年9月京都市工業試験場工芸部。現在、同機械金属部長。日本色彩学会、漆工史学会、日本文化財漆協会、

漆を科学する会


 おおやぶ ひろし
大藪 泰

1955年9月4日生

1978年職業訓練大学校化学系塗装科卒業。同年4月ロックペイント(株)技術部開発課。1981年9月京都市工業試験場工芸技術研究室。現在、同塗装技術研究

室。工学博士。色材協会、マテリアルライフ学会、日本文化財漆協会、漆工史学会


 とみなが しょうじ
富永昌治

1947年4月12日生

1975年大阪大学大学院基礎工学研究科物理系情報工学分野博士課程修了。日本色彩学会、情報処理学会、電子情報通信学会、映像情報メディア学会、米国

IEEE,OSA。工学博士。現在、大阪電気通信大学総合情報学部教授