

# ==== 報 告 ====

## 光輝感の定量評価方法

井土尚泰<sup>\*1</sup> , 度会弘志<sup>\*2</sup> , 荻巣康彦<sup>\*3</sup>

### The Method to Evaluate a Glittering Feeling Quantitatively

Takayasu Ido<sup>\*1</sup> , Hiroshi Watarai<sup>\*2</sup> , Yasuhiko Ogisu<sup>\*3</sup>

#### 要 旨

近年光輝感が高く、より金属に近い外観を有する、金属調塗装と呼ばれる新しい加飾表現が注目を浴びており、自動車部品、携帯電話、電化製品等にその採用が拡大されつつある。

本報では、金属調塗装の開発を進めていくにあたり、避けて通ることは出来ない事柄である、“光輝感の定量化”について行った検討結果について報告する。

光輝感に差の認められる幾つかの光輝加飾サンプルについて、一対比較法による官能評価試験及び、変角分光光度計を用いた反射特性の測定を行った。

この結果、測定された反射特性における、正反射近傍の反射率とシェード領域の反射率のコントラストが官能で感じられる光輝感と関係があると考え、これをもとに評価式を作成したところ、官能で感じられる光輝感と相関の高い(相関係数Rが0.9以上)評価式を作成することができた。

#### Abstract

Metal-like-painting, a new expressing method of surface treatment, is recently focused and the adoption of it as productions is expanding to various fields, parts of automobiles, mobile phones, and electric equipment.

In this paper we will report about results of examinations in which we tried to find the method to evaluate the glittering feeling quantitatively, the unavoidable matter in order to advance the development of the metal-like-painting.

Examinations of sensual evaluating with the method of paired comparisons and measurements of reflect characteristics by means of multi-angle-spectrophotometer were carried out among several metal-like-painted samples which have different glittering feeling each other.

Results of these investigations lead us to the conclusion that the contrast between reflection ratio in the highlight area and one in the shade area is deeply related with the sensual glittering feeling. According to the idea, we finally established an evaluation equation that have good correlation with sensual glittering feeling.

\*1 Takayasu Ido 材料技術部

\*2 Hiroshi Watarai 材料技術部

\*3 Yasuhiko Ogisu 材料技術部

## 1. はじめに

本物の持つ素材感、本質感により近い外観表現が強く求められる現在の加飾技術の流れにおいて、メタリック調塗装についても例外でなく、より金属に近い、新しい外観表現が求められている。

現在このニーズに対応すべく、金属調塗装と呼ばれる、これまで以上に金属感の高いメタリック塗装の開発がさかに行われ、自動車部品、携帯電話、電化製品などに採用されつつある。

本報ではこの金属調塗装の開発を進めていくにあたり、避けられない事柄である“金属感の定量化”及び、“定量評価方法の確立”についての検討結果の報告を行なう。特に今回は官能特性である『金属感』の中でも、視覚的に得られる情報である『光輝感』の定量化について検討を行った。

## 2. 開発コンセプト

### 2-1. 金属調塗装の光輝感

今回、一連の光輝加飾において、最も高い光輝感を有するものとして、クロムめっき面を定義した。このクロムめっき面では、まず最表面が極平滑であることに加えて金属層がほぼ連続で一律な面状になっており、このため、このめっき面への入射光は殆ど拡散反射を起こさず、正反射成分が大半を占めるシャープな反射特性となる。(図1)

これに対して従来技術である1コートメタリック塗装では、(図2)光輝材として用いられるアルミフレークが不規則な配向をとっており、この為フリップフロップ性が低く又、アルミフレークの粒子感が残った外観となる。

一方金属調塗装とは、これら光輝材をできるだけ真横に配向させようとする技術である。(図3)但し、吹き付け塗装等によって、クロムめっき面ほど一律に光輝材を配向させることは非常に困難である。又、保護層として表層にクリア層を施す必要がある場合が多く、このクリア層の影響で光輝感が低下するため、結果としてクロムめっき面ほどの光輝感が得られない場合が多い。

本報では、これら種々の要因のトータルの結果として得られる、様々な加飾面の有する光輝感を、定量的に評価する方法について検討を行った。

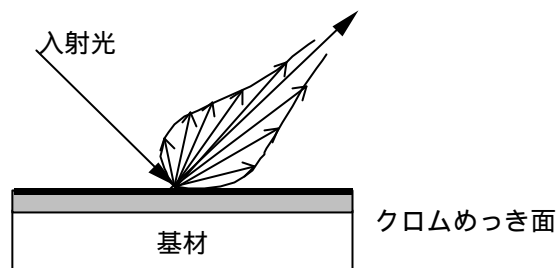


図-1 クロムめっき面の反射光モデル

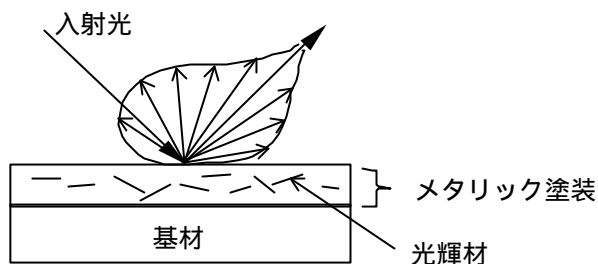


図-2 メタリック塗装面の反射光モデル

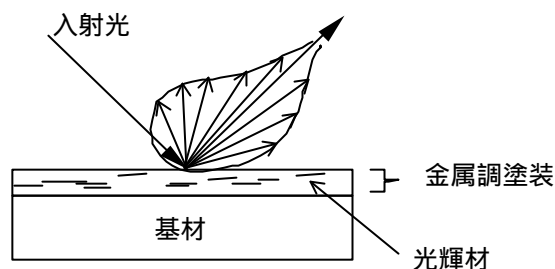


図-3 金属調塗装面の反射光モデル

### 2-2. 光輝感定量化の考え方

現在、加飾面の外観評価に広く用いられている指標である60°光沢、明度、像鮮映度光沢等を用いても、官能で感じられる光輝感と良好な相関は得られないことが知られている。<sup>1), 2)</sup>

しかし一方で『光輝感』とは視覚的な質感であり、正反射からシェード領域に至る反射率変化に起因するマクロな光学特性が官能で感じる『光輝感』と関係があると考えた。

そこで今回、種々の光輝加飾面について、反射率の受光角依存特性を測定することを試みた。

又、官能評価に関しては、それぞれのサンプルについて、パネラーによる5段階式一対比較を行い、光輝感の数量化を行った。

最後に官能で数量化した光輝感の値と相関の高い評価式を、測定された反射率特性より導き出すことにより、“光輝感の定量化”及び“定量化方法の確立”を行った。

### 3. 実験方法

#### 3-1. 評価用サンプル

実験に用いるサンプルの形状として、目視評価用に半球状パネル（直径14cm）、反射率計測用に平板パネル（10cm×10cm）を用いた。（写真-1）

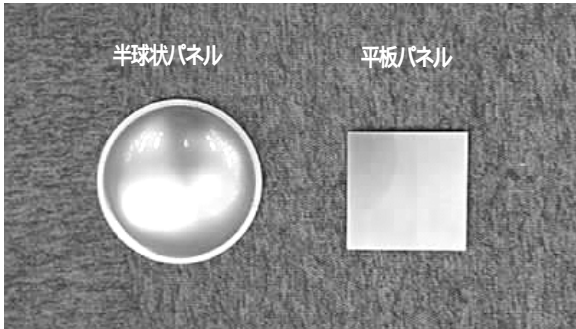


写真-1 実験に用いたサンプル形状

又、加飾アイテムとしては、クロムめっき、従来のメタリック塗料、それぞれ光輝感に差の認められる金属調塗料1～3、及び金属調塗料1に光輝材以外の無機顔料（黄色）を混入し着色したものをを用いた。（表-1）

さらにこれらについてそれぞれ、アンダーコート有り、無し、又クリアについても透明クリア品、艶消しクリア品、クリア無し品の3水準を作製し、以下の評価に用いた。（表-1、図-4）

表-1 評価用サンプルの作製条件

アンダーコート	光輝加飾	クリア
-	クロムめっき	-
・有り ・無し	・メタリック塗料 ・金属調塗料1 ・金属調塗料2 ・金属調塗料3 ・金属調塗料1（黄色顔料入り）	・透明 ・艶消し ・クリア無し

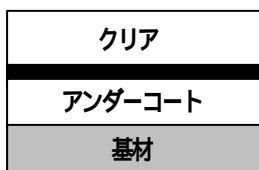


図-4 評価用サンプルの基本構成

#### 3-2. 官能評価

光輝感の官能評価実験については半球状パネルを用いて以下の条件化、5段階式一対比較法を用いて行った。（提示される一対の光輝加飾サンプルに対してパネラーはこの両者の光輝感の差を5段階で判定する。）

この後得られた結果を数量化するための演算処理方法としては、中屋の変法<sup>3)</sup>、<sup>4)</sup>を用いた。

##### 【官能評価試験条件】

パネラー：塗装技術者3人、デザイナー2人、  
『光輝感』について予備知識のない者2人  
環境：オフィス白色照明下（照度約700lx）

得られた結果の一例を図-5に示す。ここではクリア無しで統一し、光輝加飾としてメタリック塗料及び、金属調塗料1、2を用いて作製した計6個のサンプルについて行った、官能評価結果例を紹介する。この結果、アンダーコート施した金属調塗料1のサンプルの光輝感が最も高く、次いでアンダーコート無しの金属調塗料1、最も光輝感が低いのはアンダーコート無しのメタリック塗料のサンプルであるという結果が得られた。

尚、図中の横矢印は危険率95%の有意差を表わす。

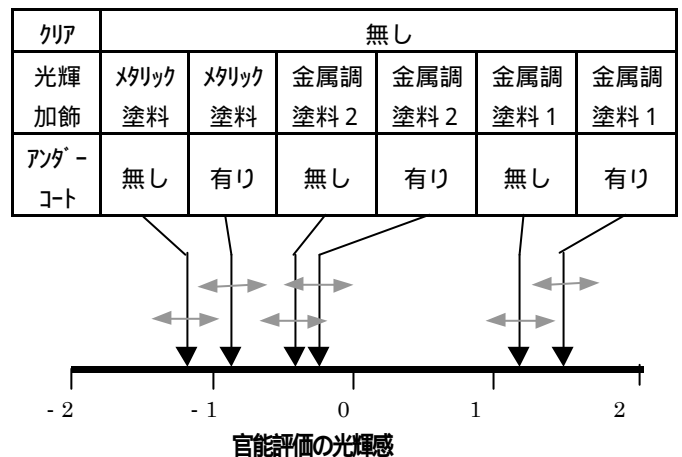


図-5 官能評価試験結果例

以下において、本報で報告される他の官能評価実験についても、全て上記の例と同様な方式で行った。又、各実験において一対比較の一巡三角形は全て許容値以下であり、実験は全て有効であった。

### 3 - 3 . 反射特性の測定

各サンプルの光学特性の計測については、変角分光光度計 (GCMS-4T) を用いて、前述の平板パネルサンプルの受光角依存反射率 (反射特性) を測定することにより行った。(図 - 6)

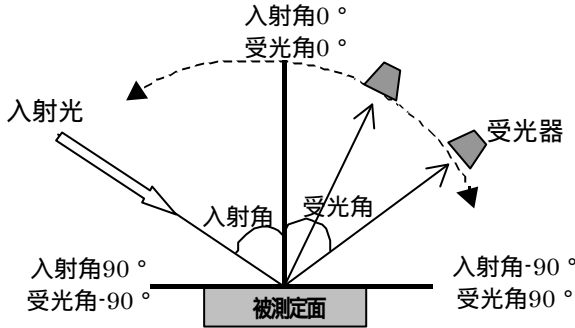


図 - 6 変角分光光度計による反射特性の測定

今回は入射角を 60° とし、受光角 - 50° ~ 75° までの間を 5° 間隔で受光器の角度を変え、反射率の測定を行った。この結果、下図に代表されるような測定結果が得られた。(図 - 7 ; クリア無しサンプルの測定結果)

ここに示す以外の測定結果においてもしばしば観測されたが、図中のメタリック塗装サンプルの測定結果では、正反射近傍に際立った凸状のピークが観測されている。これについて著者らは、光輝材の反射光によるものではなく、メタリック塗膜表層のクリア成分による、表面反射光に起因するものであると考えている。

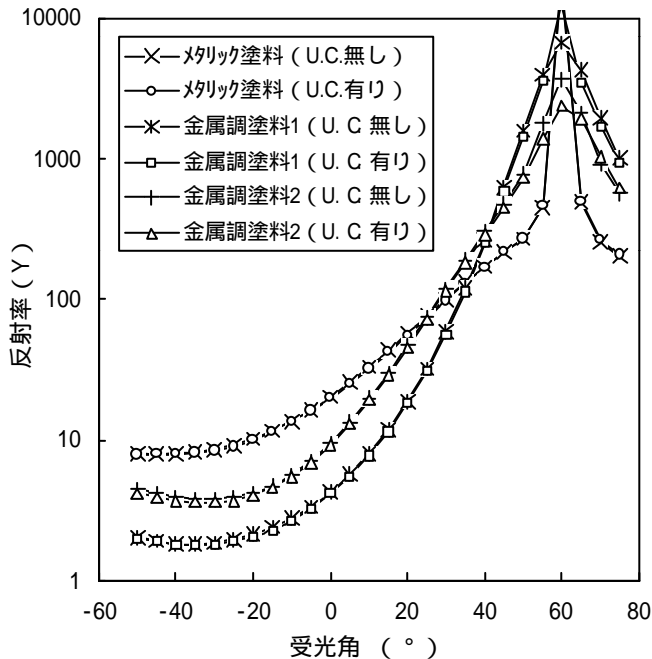


図 - 7 反射特性測定結果例 (入射角 60°)

## 4 . 結果と考察

### 4 - 1 . 光輝感評価式の推定

以下において、上記官能評価結果と反射特性の測定結果を結び付けるための評価式を確立することを目的に、両者の相関が期待できると考えられる式 1 ~ 6 を推定した。

図 - 5 及び 7 の結果からも分かるように、官能で感じられる光輝感が高いサンプルほど、“正反射近傍の光輝材による反射率強度”と“シェード領域における反射率強度”のコントラストの差が激しいことに着目し、式 1 を仮定した。(Y は反射率を示す)

$$Y_r = Y_h / Y_s \quad \text{式 1}$$

$Y_h$ : クリア層による表面反射光を除いて得られる最大のハイライト光反射率

$Y_s$ : シェード光として安定した領域の反射率

次に官能で感じる光輝感の高いものほどシェード領域の安定した反射率が低いことから、式 2 を仮定した。

$$Y_d = Y_s \quad \text{式 2}$$

又、人間の視覚的な官能と物理量は多くの場合非線形関係であり、対数値をとった方が一般に高い相関を示す場合が多い。そこで、式 1, 2 の対数を用いた式 3, 4 を仮定した。

$$Y_{r1} = \text{Log} (Y_r) \quad \text{式 3}$$

$$Y_{d1} = \text{Log} (Y_d) \quad \text{式 4}$$

『光輝感』評価式に関する先行研究として、望月氏らによる報告がある<sup>1)</sup>。この報告では以下の 2 つの評価式が提示されているが、評価式と光輝感の官能との関係については記述がされていない。そこで今回この 2 式に関しても、合わせて検証した。

$$IV = Y_{\text{入射角 } 45^\circ, \text{ 受光角 } 35^\circ} \quad \text{式 5}$$

$$FF = (IV - SV) / (IV + SV) \quad \text{式 6}$$

$$(SV = Y_{\text{入射角 } 45^\circ, \text{ 受光角 } 0^\circ})$$

4 - 2 . 評価式の検証

以上のように仮定した式 1 ~ 6 が、光輝感の官能評価とどのような相関を示すのかを以下において検証した。

4 - 2 - 1 . 半球状パネルを用いた実験

表 - 2 に示す光輝加飾を施した半球状パネル (写真 1) を用いて実験 1 ~ 5 を行った。実験 1 ~ 5 それぞれについて行った光輝感の官能評価結果と各式 1 ~ 6 との相関関係については、図 - 8 に代表されるようなかたちで得られた。

尚、これらの実験の各結果については、各評価式との間の相関係数Rを用いて表 - 3 にまとめた。

表 - 2 実験 1 ~ 5 に用いたサンプルの作製条件

実験No	アンダーコート	光輝加飾	クリア	サンプル合計数
実験 1	・有り ・無し	・メリック塗料 ・金属調塗料 1 ・金属調塗料 2	透明	6 個
実験 2			艶消し	6 個
実験 3			クリア無し	6 個
実験 4	有り		・透明 ・艶消し ・クリア無し	9 個
実験 5	無し			9 個

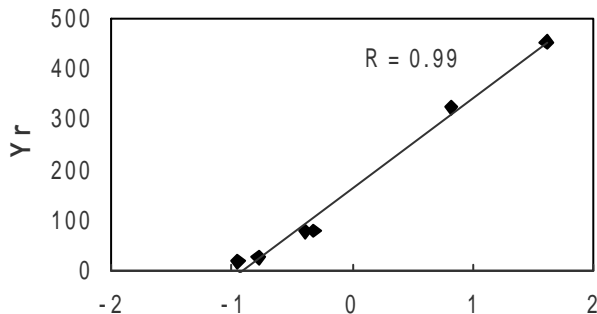


図 - 8 実験 1 での式 1 ( $Y_r$ ) と光輝感官能評価との相関

表 - 3 各実験における相関係数R

-	光輝感の官能との相関係数R				
	式 1 ( $Y_r$ )	式 2 ( $Y_d$ )	式 4 ( $Y_{dl}$ )	式 5 (IV)	式 6 (FF)
実験 1	0.99	-0.93	-0.97	0.98	0.86
実験 2	0.97	-0.94	-0.97	1.00	0.85
実験 3	0.96	-0.96	-1.00	0.99	0.85
実験 4	0.91	-0.91	-0.97	0.97	0.85
実験 5	0.89	-0.92	-0.95	0.93	0.78

式 6 (FF) を除く他の 5 つの評価式に関しては全て、各実験において十分な相関係数を示しており、今回の、光輝感評価式推定についての考え方が間違っていないことが立証された。

4 - 2 - 2 . 実部品を用いた実験

次に官能評価に用いるサンプル形状を実際の自動車部品 (ホイールカバー; 写真 2) として、同様な手順で評価式の検証試験を行った。加飾条件については、表 - 4 に示す通りとした。



写真 - 2 官能評価試験に用いたホイールカバー

表 - 4 実験 6 に用いたサンプルの作製条件

-	アンダーコート	光輝加飾	クリア	サンプル合計数
実験 6	・有り ・無し	・メリック塗料 ・金属調塗料 1~3 ・金属調塗料 (黄色顔料入)	有り	10 個

ここで得られた光輝感官能評価結果と各評価式との間の相関係数は表 - 5 の通りである。

ここでは式 5 (IV) の相関係数が他に比べて低くなっている。又、式 1 ( $Y_r$ ) 及び式 2 ( $Y_d$ ) に関しては、官能値に対して強い非線形性を示し、結果としてこれらの対数値を用いた式 3 ( $Y_{rl}$ )、式 4 ( $Y_{dl}$ ) ほど高い相関が得られなかった。式 3 を用いた場合においては、官能評価結果と満足のいく相関関係が得られており、この意味において、実部品の評価にも用いることができる光輝感の評価式が確立できたと言える。

表 - 5 実験 6 で得られた相関係数

評価式	式 1 ( $Y_r$ )	式 2 ( $Y_d$ )	式 3 ( $Y_{rl}$ )	式 4 ( $Y_{dl}$ )	式 5 (IV)
相関係数R	0.92	-0.82	0.98	-0.89	0.88

4 - 2 - 3 . めっきを含めた光輝感評価

加飾における最高レベルの光輝感を有するものとして、めっきを目標として、検討を行ってきた以上、めっき面の有する光輝感の評価は避けて通ることはできない。そこでここでは、めっきを含めた光輝加飾の光輝感を評価するための評価式について、検討を行った。

官能評価には、写真 - 2 に示したホイールカバーをサンプルとして用いた。光輝加飾の種類としては表 - 4 と同様とし、ここにクロムめっき加飾品を加えた計 11 種類のサンプルを用いて、光輝感の官能評価及び反射特性の測定を行った。(実験 7)

この実験の結果得られた、各評価式の光輝感の官能との相関係数について、表 - 6 にまとめる。

表 - 6 実験 7 で得られた相関係数

評価式	式 1 ( $Y_r$ )	式 3 ( $Y_{rl}$ )	式 4 ( $Y_{dl}$ )	式 5 (IV)
相関係数R	0.71	0.87	-0.93	0.32

ここでは、正反射近傍の反射率を用いる式 1 ( $Y_r$ )、式 3 ( $Y_{rl}$ )、式 5 (IV) を用いた場合、官能評価との良い相関は得られていない。この理由について以下のように考えた。

クロムめっき面の入射角  $60^\circ$  における反射特性を図 - 9 に示す。これを見て分かるように、クロムめっき面では正反射近傍の反射率が急変する傾向にある。このため、 $Y_h$  や  $Y_{入射角45^\circ, 受光角35^\circ}$  等の正反射近傍の反射率を安定した値として得ることが困難である。このため、めっきを含めた光輝感の評価に、式 1, 3, 5 を用いることは不適當であると考えられる。逆に安定したシェード光の反射率を用いる式 4 ( $Y_{dl}$ ) が評価式として適している。

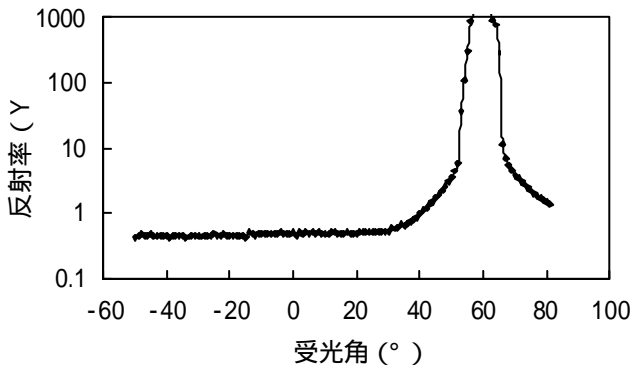


図 - 9 クロムめっきの反射特性 ( $60^\circ$  入射)

5 . まとめ

変角分光光度計を用いた、種々の光輝加飾面の反射特性の測定結果より、官能で感じられる光輝感と相関の高い評価式を導き出すことができた。

塗料及び塗装開発時における試作サンプルの光輝感を評価する際には、塗装領域において官能評価と相関の高い式 3 ( $Y_{rl}$ ) を用いるのが適當である。

$$Y_{rl} = \text{Log} ( Y_h / Y_s )$$

$Y_h$ : ハイライト領域の反射率

$Y_s$ : シェード領域の反射率

但し、対象サンプルが正反射ピークの鋭いものであったり、めっき品との比較を行いたい場合には、式 4 ( $Y_{dl}$ ) を用いることが望ましい。

$$Y_{dl} = \text{Log} ( Y_s )$$

謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導を頂きました株式会社豊田中央研究所 システム 1 部 光応用研究室の皆様、深く感謝致しますと共に、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 望月, 光宗, 田中, 角田, 金属感に優れる塗装システムの開発, 塗装工学, Vol.34, No.7 (1999)
- 2) 竹内, 寺沢, レーザー式メタリック感測定装置, 塗料の研究, No.117, Dec. (1989)
- 3) 竹内, 高橋, 大橋, 芳賀, SASによる実験データの解析, 東京大学出版会 (1991)
- 4) 増山, 小林, センソリー・エバリュエーション, 垣内出版株式会社 (1989)
- 5) 竹内, レーザー式メタリック感測定装置について, 塗装工学, Vol.30, No.8 (1995)
- 6) 野村, 平山, ミクロ光輝感の官能評価と画像計測, 塗料の研究, No.132, Apr. (1999)