

## 自動車内装部品におけるシボ加工面の表面性状が

### 光沢度と色に及ぼす影響

#### Effect of surface texture on glossiness and color for wrinkly textured surfaces in automotive interior

研究代表者 次世代基盤技術研究所 博士研究員 米原 牧子  
Makiko Yonehara  
共同研究者 工学部機械工学科 准教授 樹野 淳也  
Junya Tatsuno  
工学部情報システム工学科 講師 中村 一美  
Hitomi Nakamura  
工学部知能機械工学科 教授 竹原 伸  
Shin Takehara

Texture is one of the important factors to characterize appearance of products. However, its quantitative evaluation is difficult and the proper evaluation method has not been developed yet. In order to solve this problem, in the present study, we proposed several parameters applicable for quantitative texture evaluation. Effects of surface roughness on glossiness and surface color were investigated for wrinkly textured surfaces in car interior. With decreasing skewness  $Rsk$ , glossiness increased. The lightness  $L^*$  and color coordinate  $b^*$  change with the arithmetical mean roughness,  $Ra$ . The present experimental results showed that the texture can be evaluated quantitatively by using three combined parameters: surface roughness, glossiness and surface color.

Keywords: wrinkly texture, surface texture, glossiness, color, roughness

#### 1. はじめに

自動車のダッシュボードやドアトリム、シート等の内装品における“表面質感”は、車室内空間においてドライバや乗員の快適性や満足感といった感性的価値を高める重要な一因子と言われている。とくに、ダッシュボード等に用いられる樹脂系材料は、安価で加工が容易であるため、表面に施すシボの状態によっては見た目の質感や触り心地を高めることが出来る<sup>(1)</sup>。

シボの加工法に関しては、従来のエッチング工法だけでなく、近年、5軸レーザ加工機による機械加工が実用化される<sup>(2)</sup>など、シボパターンのデジタル化が進展している。それにより、再現性の高い加工も可能となりつつある。

また、質感の評価技術については、感性工学や人間工学の手法を用いた心理量の定量化に関する研究報告が多く見られる。例えば、久保田ら<sup>(3)</sup>は自動車のハンドルパッドを取り上げ、シボ面の視覚的なソフト感を向上させるための心理量と物理量の関係を相関分析し、設計指針となる重回帰式を見出した。また正守ら<sup>(4)</sup>は、革シボパターンのしっとり感

について感性評価とシボパターンの周波数解析で得られた物理特性との相関関係を分析するなど、心理量と物理量の関係から自動車インテリアの高品質化を検討している。

一方、質感は材料表面の種々の要素を総合して得られる表面の特徴であり、その微妙な質感の差異を調整することによって高品質感が演出される。さらに、質感の異なる部品間の組合せを調和させることにより、車室内空間の快適性や満足感も向上する<sup>(5)</sup>。部品間の調和を図るためには、微妙な質感の差異を調整するための物理特性を明確にする必要がある。しかし、物理指標の関係性について検討された研究報告は少ない<sup>(6),(7)</sup>。

本研究では、表面を構成する表面性状(粗さ)、光沢度、色を視覚的要素の物理指標として、各々の関係性について検討した。ここでは、市販の自動車に使用されているシボ加工面について調査を行った。

#### 2. 実験方法

##### 2.1 供試材

実際の自動車に搭載されている内装部品のうち、

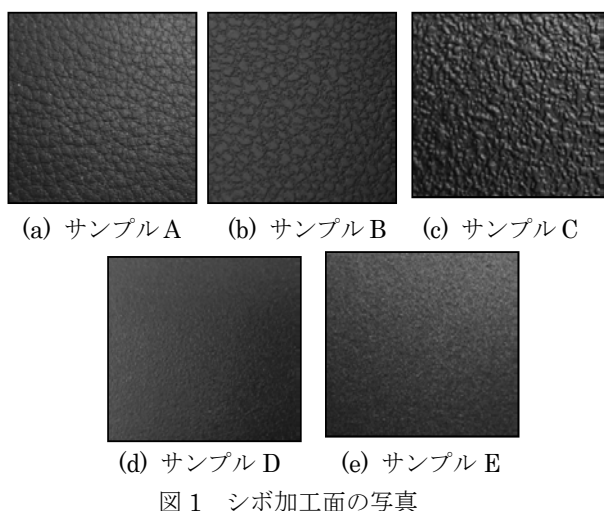


図1 シボ加工面の写真

図1に示した5種類のシボ加工が施された樹脂部品を用いた。全ての材料は、PP系樹脂で製作されており、色は黒である。

## 2.2 表面性状の測定

表面性状は、触針式表面粗さ測定機サーフテスト SV-3000S4（(株)ミットヨ製）を用いて測定した。触針の先端形状及びテーパ角度はJIS B 0651:2001及びISO3274に準じて円錐60°、先端曲率半径2 $\mu\text{m}$ とし、測定力を0.75mNに設定した。Z軸方向の分解能は0.01 $\mu\text{m}$ 、測定ピッチは0.5 $\mu\text{m}$ であり、測定長さは12.5mmとした。カットオフ値はそれぞれ $\lambda_s=0.0025\text{mm}$ 、 $\lambda_c=0.8\text{mm}$ とした。測定箇所は、1部品につき1箇所を3方向（0°、45°、90°）から計測し、得られた粗さ曲線から種々の表面性状パラメータを算出した。

## 2.3 光沢度及び表面色の測定

光沢度の測定は、光沢計 GM-268（コニカミノルタホールディングス(株)製）を用いた。光源はCIE標準光源Cの分光特性を有する白色光とし、受光角度はJIS Z 8741に準じ、低光沢面評価に適する85°とした。測定面積は7 $\times$ 42mm<sup>2</sup>である。

色の測定は、分光測色計 CM-2600d（コニカミノルタホールディングス(株)製）を用いた。光源は色計測として一般的に用いられるCIE標準光源D<sub>65</sub>の分光特性を有する白色光とした。装置の照明光学系は、積分球により完全拡散させた光を試料表面へ照射し、その反射光を8°方向で受光するd/8方式である<sup>(6)</sup>。測定面は直径 $\phi$ 3mmの円形とし、視野角度は10°とした。計測した分光反射率からCIELAB（L\*a\*b\*表色系）を用いて色の数値化を行った。

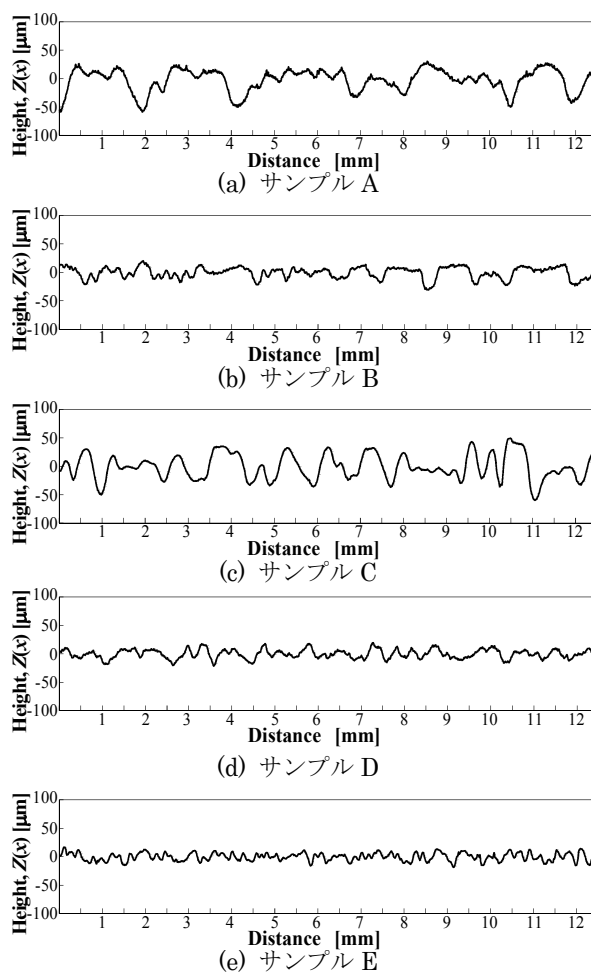


図2 粗さ曲線

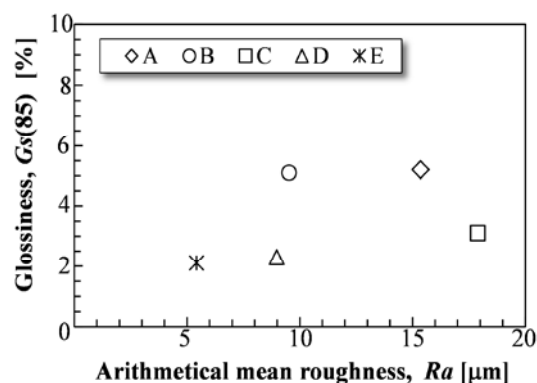


図3 算術平均粗さ  $R_a$  と光沢度の関係

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 表面性状パラメータと光沢度の関係

図2に各々のサンプルの代表的な粗さ曲線を示す。高さ方向の凹凸高低差はサンプルA及びCが大きく、サンプルB、D及びEは比較的小さい。

まず、表面性状パラメータとして最も一般的であ

る高さ方向の算術平均値  $Ra$  について、光沢度との関係を調べた。 $Ra$  と光沢度の関係を図3に示す。光沢度はいずれも約10%以下と低い。またサンプルAとCや、BとDのように、算術平均粗さ  $Ra$  は近い値であるが、光沢度が異なるものも見られ、 $Ra$  と光沢度の間に明確な相関関係は見られなかった。これは、凹凸形状に依存して反射光の割合が変化しているためと考えられる。すなわち、算術平均粗さ  $Ra$  は凹凸の高さ方向の平均値であるため、凹凸形状の特徴を評価するのは困難である。

そこで、凹凸の形状を評価するパラメータとして、まず凹凸の微小傾斜を表す二乗平均平方根傾斜  $R\Delta q$  について調べた。図4に二乗平均平方根傾斜  $R\Delta q$  と光沢度の関係を示す。図より、サンプルEを除いて  $R\Delta q$  が小さくなるに従い光沢度は高くなる傾向が見られた。またサンプルEの  $R\Delta q$  はサンプルBとほぼ同じであるにも関わらず光沢度が低い値を示した。これは、図2に示した粗さ曲線よりも、サンプルEは凹凸の周期が短いため拡散反射光が多いことが要因と考えられる。そこで、粗さ曲線のフーリエ解析を行い、1mmあたりの空間周波数を求めた。解析結果を図5に示す。図より、サンプルA~Dは空間周波数が約  $0.5 \sim 1 \text{mm}^{-1}$  でピークを示し、凹凸周期は  $1 \sim 2 \text{mm}$  であった。それに対し、サンプルEの空間周波数は約  $4 \text{mm}^{-1}$  でピークを示し、凹凸周期は約  $0.25 \text{mm}$  と小さい。すなわち、 $R\Delta q$  がほぼ同じであっても凹凸周期が短い場合、光沢度は低い値を示す。

また、凹凸形状を評価するパラメータとして、粗さ曲線の高さ方向の偏り度を表すスキューネス  $Rsk$  がある。 $Rsk$  は高さ方向の確率密度関数の非対称性の尺度であり、式(1)により算出される。

$$Rsk = \frac{1}{Rq^3} \left[ \frac{1}{lr} \int_0^{lr} Z^3(x) dx \right] \quad (1)$$

$Z(x)$ : 任意の位置  $x$  における輪郭曲線の高さ  
 $Rq$ : 基準長さにおける  $Z(x)$  の二乗平均平方根  
 $lr$ : 基準長さ

図6に  $Rsk$  を説明する模式図を示す<sup>9)</sup>。図6に示したように、式(1)より求めた  $Rsk$  の値が正のときは粗さ曲線の山に対して谷の部分が広く、負のときは谷に対して山が広いことをそれぞれ示す。光沢度は、正反射方向の光の反射率であることより、広い山が多いほど光沢度も高くなると考えられる。

図7にスキューネス  $Rsk$  と光沢度の関係を示す。 $Rsk$  の値が小さいほど光沢度は高くなる傾向が見ら

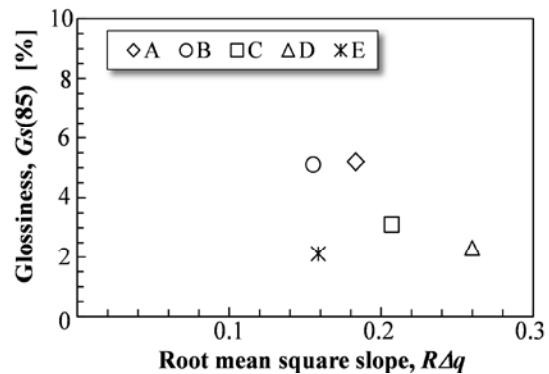


図4 二乗平均平方根傾斜  $R\Delta q$  と光沢度の関係

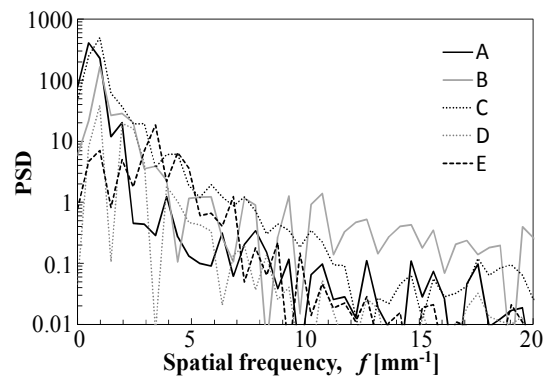


図5 周波数解析結果

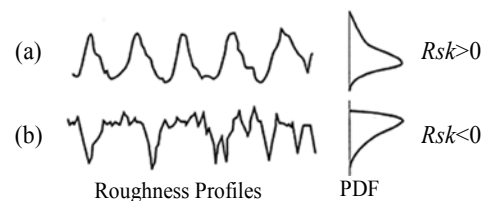


図6 スキューネス  $Rsk$  の性質を示す模式図

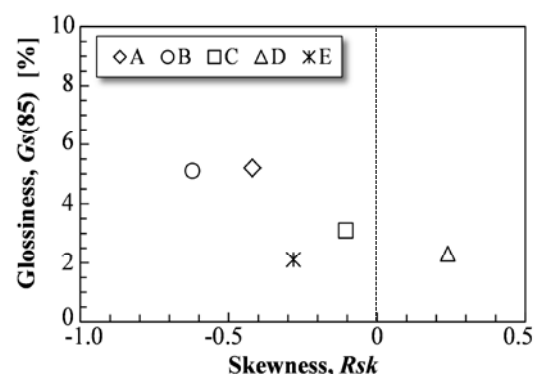


図7 スキューネス  $Rsk$  と光沢度の関係

れた。また、図3において光沢度の値が比較的高いサンプルA及びBのスキューネス  $Rsk$  の値は負であった。さらに、図3において、 $Ra$  がほぼ同じであったサンプルAとCや、BとDについて、 $Rsk$  の値は

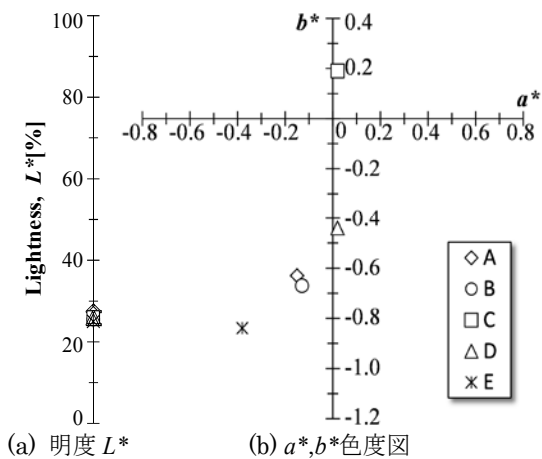


図 8  $L^*a^*b^*$ 表色系の測色結果 (SCE 方式)

それぞれが大きく異なる値を示した。

### 3.2 表面性状パラメータと色の関係

色の計測方法には、表面の凹凸に依存しない材料そのものの色 (物体色) を計測する SCI 方式と、表面凹凸に依存して変化する色 (表面色) を計測する SCE 方式がある。SCI 方式 (specular component included method) は正反射光を含む反射光から色を算出し、SCE 方式 (Specular component excluded method) は正反射光を除去し、拡散反射光のみから色を算出する。よって、SCE 方式で計測した明度  $L^*$  値に光沢度より算出した正反射率を加えた値は、SCI 方式で計測した明度  $L^*$  値とほぼ同じになる<sup>(10)</sup>。しかし、本実験で得られた光沢度はいずれのサンプルも 10%以下と低い。そのため、SCI 方式と SCE 方式で計測した色の値にほとんど差は見られなかったが、ここでは、シボの種類の違いによる色の変化を調べるため、SCE 方式による検討を行った。

図 8(a)及び(b)に明度  $L^*$ と  $a^*$ ,  $b^*$ 色度図を示す。明度  $L^*$ は、約 24~28%と比較的低く、色度  $a^*$ 及び  $b^*$ の値も 1.0 以下の範囲に分布しており、シボ加工面の表面色が黒の無彩色であることを示している。

図 9 に算術平均粗さ  $Ra$  と色の明度  $L^*$ の関係を示す。図より、 $Ra$  が大きくなるに従い明度  $L^*$ の値は増加する傾向が見られた。これは、 $Ra$  が大きくなるに従い拡散反射光が増加しているためである。一方、明度  $L^*$ の値は、スキューネス  $Rsk$  や二乗平均平方根傾斜  $Rdq$  の間に明確な相関関係は見られなかった。すなわち、前節において、光沢度は  $Ra$  よりも凹凸形状に依存して変化するのに対し、明度  $L^*$ は  $Ra$  に依存して変化している。

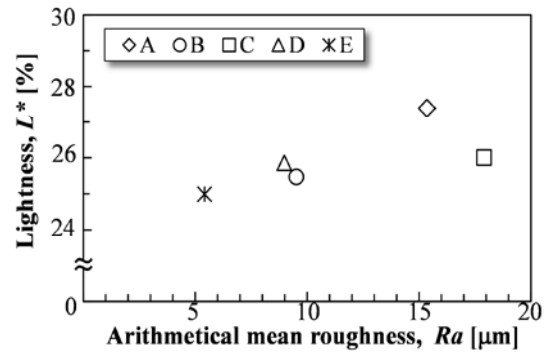


図 9 算術平均粗さ  $Ra$  と明度  $L^*$  の関係

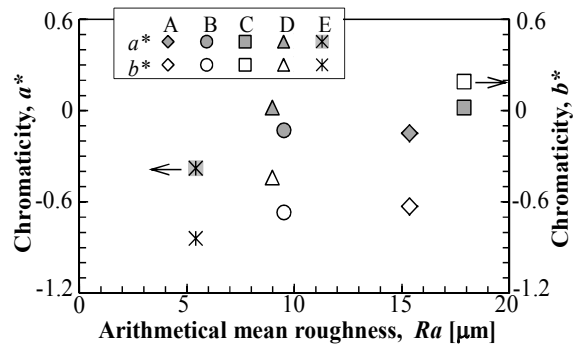


図 10 算術平均粗さ  $Ra$  と色度  $a^*$ 及び  $b^*$  の関係

また色度  $a^*$ 及び  $b^*$ について、算術平均粗さ  $Ra$  との関係を図 10 に示す。図より、 $Ra$  の値が大きくなるに従い色度  $a^*$ 及び  $b^*$ の値は増加する傾向が見られた。すなわち、 $Ra$  が大きいほど長波長側の反射率が高くなることを意味しており、その反射率が最も高かったのはサンプル C であった。この一要因として、凹凸による反射光の波長依存性が挙げられる<sup>(11)</sup>。

しかしながら、本実験で用いた供試材は黒の PP 系樹脂であり、光の吸収率が高く、表面色として実際に色相の違いが容易に目視で認識できるほどの差は見られない。そこで、容易に目視では認識できない微妙な色の違いがどの程度の差であるか調べた。

### 3.3 色差 $\Delta E_{00}$ による比較

サンプル A~E における全ての組合せについて、色差  $\Delta E_{00}$  の値を調べた。ところで、従来から使用されていた色差  $\Delta E_{ab}^*$  は、ヒトの目の特性である色識別域の形状や大きさの違いによって生じる目視評価の結果と、色差式で予測される色差が一致しないという問題点があった。これを解決するため、色空間上でのヒトの目の色識別領域の特徴を考慮した新しい計算式として、CIE (国際照明委員会) より CIEDE2000 色差色が提案された<sup>(12)</sup>。本報では、



表1 CIEDE2000 色差式による色差 $\Delta E_{00}$

	A	B	C	D	E
A		2.0	1.1	1.5	2.3
B	2.0		0.9	0.9	0.6
C	1.3	0.7		0.7	1.2
D	1.2	1.1	0.6		1.4
E	2.3	0.9	1.1	1.5	

□ SCI方式    ■ SCE方式

CIEDE2000 色差式より算出した色差 $\Delta E_{00}$  の値<sup>(13)</sup>から各々のサンプルの比較を行った。

色差 $\Delta E_{00}$ の算出結果を表1に示す。表中の網掛け欄にはSCE方式による算出結果を示した。また比較のため、SCI方式による測色値の色差 $\Delta E_{00}$ を表中の白地の欄に示したが、両者の値にほとんど差は見られなかった。ここでは、SCE方式のみの結果について述べる。

まず、測色値の色差 $\Delta E_{00}$ を見ると、サンプルAに対する色差が比較的大きく表れた。これは、サンプルAは明度 $L^*$ 値が最も高かったためと考えられる。そのため、明度 $L^*$ 値が近いサンプルCに対するBとDの色差を見ると、比較的低い値を示した。

さらに、色度 $a^*$ 及び $b^*$ の差が大きかったサンプルCに対するEの色差を見ると比較的高い値を示したが、色度 $a^*$ 及び $b^*$ が比較的近い値を示したサンプルCとAの色差も比較的高い値であった。これは、本実験で用いたサンプルが無彩色であったため、色差は、色度 $a^*$ 及び $b^*$ よりも明度差による影響が強くと考えられる。

#### 4. おわりに

本研究では、自動車用内装部品として実際に用いられている種々のシボ加工面が施された黒のPP系樹脂を供試材として、微妙な質感の違いを表す設計指針を得るため、表面性状パラメータ、光沢度、表面色のそれぞれの物理指標における相関関係を調べた。得られた結果を以下に示す。

- (1) 光沢度は表面性状の高さ方向の平均値を示す算術平均粗さ $Ra$ だけでなく、凹凸の微小傾斜や周期を含めた凹凸の形状に依存して変化する。
- (2) 表面色の明度 $L^*$ 及び色度 $b^*$ の値は、凹凸形状よりも算術平均粗さ $Ra$ との相関が高い。
- (3) CIEDE2000 色差式より算出した色差 $\Delta E_{00}$ の値は色度 $a^*$ 及び $b^*$ よりも明度差による影響が強くと現れた。

#### 謝辞

本研究を遂行するにあたり、光沢度及び色の測定は拓殖大学工学部 杉林俊雄教授にご協力いただきました。また、本研究は文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業「地域連携による次世代自動車技術の研究」の支援によって行われました。ここに記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

- (1) 美記陽之介,坂田澄男,“色・艶・シボの質感の定量計測の取組み”,*自動車技術*, 65(7), 2011, 86-90.
- (2) 古瀬雄也,“5軸レーザ加工機によるシボ加工のデジタル化”,*電気加工学会誌*, 45(108), 2011, 1-4.
- (3) 久保田毅,和田隆志,松田守弘,永田雅典,安井真由美,“シボ面の視覚的なソフト感の解析”,*計測自動制御学会論文集*, 35(8), 1999, 989-995.
- (4) 正守一郎,古郡了,横田佳代子,梶川浩子,佐藤浩昭,笹岡礼子,“質感の高い内装用革シボパターンの開発”,*マツダ技法*, 15, 1997, 100-106.
- (5) 久保隆三,“自動車インテリアにおける高級感・感性デザイン”,*マテリアルステージ*, 6(10), 2007, 6-11.
- (6) P.L.Menezes, Kishore, S.V.Kailas and M.R. Lovell, “Friction and transfer layer formation in polymer-steel tribo-system: Role of surface texture and roughness parameters”, *Wear*, 271, 2011, 2213-2221.
- (7) 前田光俊,加地徹,伊藤博,松田守弘,“シボ(皺)面光沢測定法の検討”,*光波センシング技術研究会講演論文集*, 16, 1995, 101-107.
- (8) JIS Z 8722:2009
- (9) JIS B 0601:2001(ISO4287:1997)
- (10) 米原牧子,熊井真次,磯野宏秋,木原幸一郎,杉林俊雄,“Cu-Zn系およびCu-Sn系合金のショットブラスト加工面における光沢度と表面色に及ぼす表面粗さの影響”,*日本金属学会誌*, 73(6), 2009, 439-445.
- (11) 米原牧子,木原幸一郎,磯野宏秋,木嶋彰,杉林俊雄,“アルミニウム合金の表面色によるテクスチャ評価方法”*軽金属*, 54巻2号(2004), pp.45-50.
- (12) M.R.Luo, G.Cui, B.Rigg, “The Development of the CIE 2000 Colour-Difference Formula: CIEDE2000”, *COLOR research and application*, 26(5), 2001, 340-350.
- (13) JIS Z 8730:2009