

製品・材料の光沢管理の重要性および ISO の最新動向

Nico Frankhuizen *

翻訳および補足解説: COTEC® **

ISO の専門委員会 (TC: Technical Committees) のメンバーであり、またその規定の主旨に基づいた光沢計の設計思想を追求している Nico Frankhuizen 氏よりテクニカルレポートが届いた。専門的内容であるため、塗装現場の情報となるように、技術の背景や補足を加えお伝えしたいと思う。

1. 光沢とは

主観的な「光沢感」を、「光沢度」を代表的指標として客観的に管理する必要性が高まっている。なぜなら、光沢感強い心理的作用を持ち、それが購買意欲に強い影響力を持つことを、昨今の種々のデータが示しており、それがまた営業の現場でも直感的に理解されるようになってきたからであろう。光沢とは私たちの生活にとって非常に身近な存在であるが、それを客観的に定義することは容易ではないようだ。

私たちは、製品や材料などを見る際に、さまざまなレベルの光沢を認識している。詳しい数値はわからなくとも、ある物を見た時、光沢が強い、半光沢、滑らかな光沢、光沢がなくマットな表面、などと判別できる。そして、そのような光沢の違いは実は私たちの心理に大きく作用する。

そもそも光沢の定義とは何か。辞書を引くと、

光沢とは、「光の反射による、物の表面の輝き。つや」等と記載されている。光沢にははっきりとした定義はなく、光沢は人間の主観的な評価に類している。

この主観的に評価される光沢とは、物体の表面から反射された光の割合に影響されたものである。そして、物体の屈折率、入射光の角度、物質の構造、滑らかさ、粗さなどが光沢の違いを生じさせるのである。

たとえば、つるつるした物体に光沢感があると感じるのは、反射光が大きいために光沢があるように見えるからである。一方、粗い表面は反射光が小さくなり、色艶(いろつや)がなく光沢がないように見える。このような人間の主観的な光沢感を、客観的な光沢度として管理するために生み出されたのが光沢計である。

本稿では、光沢計を用いた製品や材料の光沢管理の重要性を皆さんと共に確認し、さらに ISO 2813「塗料及びワニス— 20°, 60° 及び 85° における非メタリック塗膜の鏡面光沢度の測定」についての最新動向を紹介したい。

2. 光沢管理の重要性

(1) 光沢の心理への影響

リフォームの宣伝に、「お部屋に光沢のある壁紙を使用すると躍動感や広がりといった印象をあたえる事ができます」と示されていた。また、木材の温かみは、「木材の細胞構造に起因しています。木材の細胞には微細な凸凹があります。よって、光の反射は、木材の繊維方向に

* Nico Frankhuizen Thermimport Quality Control 社
(オランダ)

** コーテック®

平行に光を当てたときと、直角に光を当てたときとは異なるのです。繊維に平行に光を当てると、光の多くが正反射(鏡面反射)するのに対し、繊維に直角方向に光が入ると、細胞側壁で光が散乱し強い反射が生じません。このような光の反射が、方向により異なることによって、独特の光沢を生み出しています」と紹介されている。

実際に部屋の木材の使用割合により、脈拍数が変化したり、交換神経の働きに変化が生じたと報告されている(※マルホン「木材が及ぼす視覚効果について」より引用)。

視覚によって捉(とら)えられた光沢は、私たちの肌触りや温かさ、音の響きといった五感全体を刺激し、癒(いや)しや躍動感といった心理的作用ばかりでなく、脈拍や血圧といった生理的作用にまで影響が及ぶのである。

製品の光沢の管理が重要となる理由は、光沢が人間の心理に影響を与え、さらには光沢の度合いが顧客の購買意欲などに深く関(かか)わってくるからである。

(2) 光沢計の歴史

光沢の測定に基づく品質管理は20世紀に入ってから影響力を持つようになり、それまで目視であった光沢管理に、計器による数値化と管理基準が導入された。特に1970年代より、ドイツの検査機器メーカーが光沢計の量産化を果たし、測定の基準が生み出されて以来、光沢計の需要はさらに増えた。また、光沢などの審美性・意匠性に対する要求の高まりを背景に、テクノロジーの進歩により、試験の誤差は減り、より精細な光沢の管理が可能となってきている。

塗装の価値において、塗膜の持つ防錆としての機能は唯一のものではなくなり、美装としての、つまり色艶や形などがますます重要になってきている。当然その評価を客観的に行う必要性が高まり、光沢計は自動車、飛行機、船舶、液晶、塗料、家具、プラスチック製品、革製品、化粧品、印刷物など光沢を管理する必要のある幅広い業界で使用されているのである。

写真-1に、光沢度測定の一例を示す。

(3) 生産管理としての光沢

光沢計による光沢管理は、ただ塗膜の光沢などの外観を確認するばかりでなく、既存の製品



写真-1 光沢度測定の実例(車のバンパー)

の品質管理方法を補完する役割を果たし得る可能性が大きい。

たとえば、製品の塗装面の品質管理をする場合、従来は密着や膜厚、表面の硬さの検査や測定が主体であるケースも多かった。しかし、それらの測定と光沢度の測定を同時に行うことによって、さらに詳細な製品管理が行える。実際に、非破壊では行えなかったような情報を、光沢度によって得ることも可能である。塗料の調整上のトラブルや乾燥工程のトラブルも光沢度に影響する。

このように、光沢管理は単純にどれだけ光沢があるかを測るだけでなく、塗装や印刷などの品質管理で重要な指標を提供し得ると考えられる。

3. 光沢の測定方法

(1) 光沢の客観的な見方

人が認識する光沢は主観的であることから、その評価を単一の測定方法で行うことは難しい。そのため、光沢の種類によりそれぞれ適した反射率の捉え方が考えられてきたが、現在でもなお、光沢の見方やその測定方法に関する意見はさまざまである。米国人の R.S Hunter は国

第1表 光沢の種類

光沢の種類	知覚基準	反射率の関数	該当する表面の分類
鏡面光沢	ハイライトの輝き	$G_s = S/I$ 	塗膜やプラスチックなどの中光沢面
シーン光沢	大きな入射角に対する輝き	$G_h = S_h/I$ 	塗膜や紙などの低光沢面
対比光沢	鏡面反射と拡散反射のコントラスト	$G_c = S/D$ 	塗膜や織布などの低光沢面
ぼけなし光沢	ハイライトの近辺にぼやけや、かぶりのないこと	$G_b = (B-D)/I$ 	反射ハイライトの見られる高光沢および中光沢面
鮮明度光沢	鏡面像の鮮明度	$G_D = dR/d\theta$ (拡散反射曲線のスロープ) 	鏡面像の見られるような高光沢面

際的に影響力がある権威の一人であるが、彼の定義も大きく分けて、第1表に示すように、鏡面光沢、シーン光沢、対比光沢、ぼけなし光沢、鮮明度光沢など、五つある。

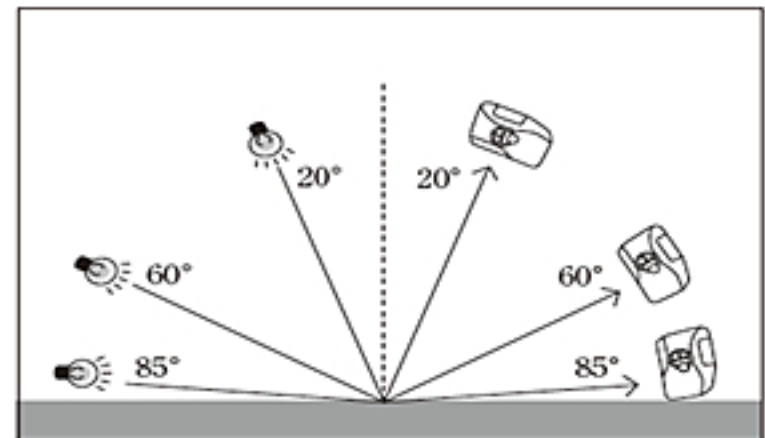
(2) 鏡面光沢の測定方法

光は塗膜に当たり、表面で反射もしくは透過、吸収される。反射には大別して、鏡面反射と拡散反射がある。

鏡面光沢とは光沢を鏡面反射の光強度によって表すもので、入射光に対する鏡面反射率、つまり正反射率を見る方法であり、測定方法は簡単で最も広く用いられている。特に、プラスチックや工業製品の塗膜の測定ではほとんどこの方法が用いられており、ISO や JIS でもこの測定方法が ISO 2813, ISO 7668, JIS K 5600-4-7, JIS K 8741 として規格化されている。

ISO 2813/JIS K 5600-4-7 では、「20°、60° 又は 85° の幾何条件の反射率計を用いて塗膜の鏡面光沢度を測定する試験方法について規定している」とある。つまり、第1図に示すように、三つの角度が条件により使い分けられることになる。60° ではすべての塗膜に適用できるが、20° では光沢が高い塗膜、85° では光沢が低い塗膜を測定するのに適している。

60° で測った場合の光沢度が 70 以上の場合には 20° で測り、光沢度が 10 以下の場合には 85° で測ることが好ましいとされている(第2表参



第1図 光沢計による測定

第2表 測定の適用範囲

光沢度 角度	10 以下	10 以上 70 以下	70 以上
20°	×	×	○
60°	△	○	△
85°	○	×	×

照)。

なぜ、複数の角度で光沢度を測定する必要があるのかについては、種々の裏付け試験も実施されているが、たとえば次の報告がされている。

「…60° 鏡面光沢度と 20° 鏡面光沢度の適用範囲について、試験方法の良さを表す S/N 比で検討した。この結果 60° 鏡面光沢度で 70 を超える光沢域では 20° 鏡面光沢で測定するのが良く、70 以下の光沢域では 60° 鏡面光沢が良いことが分かった。このことは、光沢度の高い



写真-2 3角度測定に対応した光沢計の例

エナメル塗料の原料の分散性良否など微小な光沢差を調べるには20°鏡面光沢度で測定し、いわゆる半ツヤ以下の光沢差を比較するのは60°鏡面光沢度の方が検出力が優れていることを意味している」(日本油脂：実験ノート「S/N比による鏡面光沢度の測定値の評価について」より引用)。

このように、光沢度による角度の使い分けは測定精度にとって大変重要である。

写真-2に、3角度測定に対応した光沢計の例を示す。

その測定の基準値であるが、ISO 2813/JIS K 5600-4-7において、「屈折率1.567の磨かれた黒色ガラスには、20°、60°、85°の幾何条件で、100(GU)の値が定められている」と規定されており、光沢度(GU)で表される。したがって、光沢度0とは完全に艶のない表面で反射がないものである。

4. 光沢計に求められる厳格な精度

(1) ISOが要求する精度

光沢計で重要な基準の一つがその精度であり、ISO(JIS)では繰り返し精度と再現精度と

いう二つの精度が規定されている。

繰り返し精度とは、同一試験室において同一オペレーターによって短時間間隔で試験した場合の精度であり、この規格では「ガラス板上の塗膜に対する2組3回読み取りの平均値の差の絶対値は、95%の確率で60°及び85°の幾何条件に対してそれぞれ10単位、20°の幾何条件に対しては2単位であることが期待される」とある。

これに対して、再現精度は、異なった試験室で異なったオペレーターによって試験した場合の精度であり、「ガラス板上の同一製品の塗膜に対する2組3回読み取りの平均値の差の絶対値は、95%信頼限界で20°、60°及び85°の幾何条件に対してそれぞれ6単位、4単位及び7単位であることが期待される」とある。

光沢計の精度規定を第3表に、まとめて示す。

(2) 最新の光沢計の実際の精度

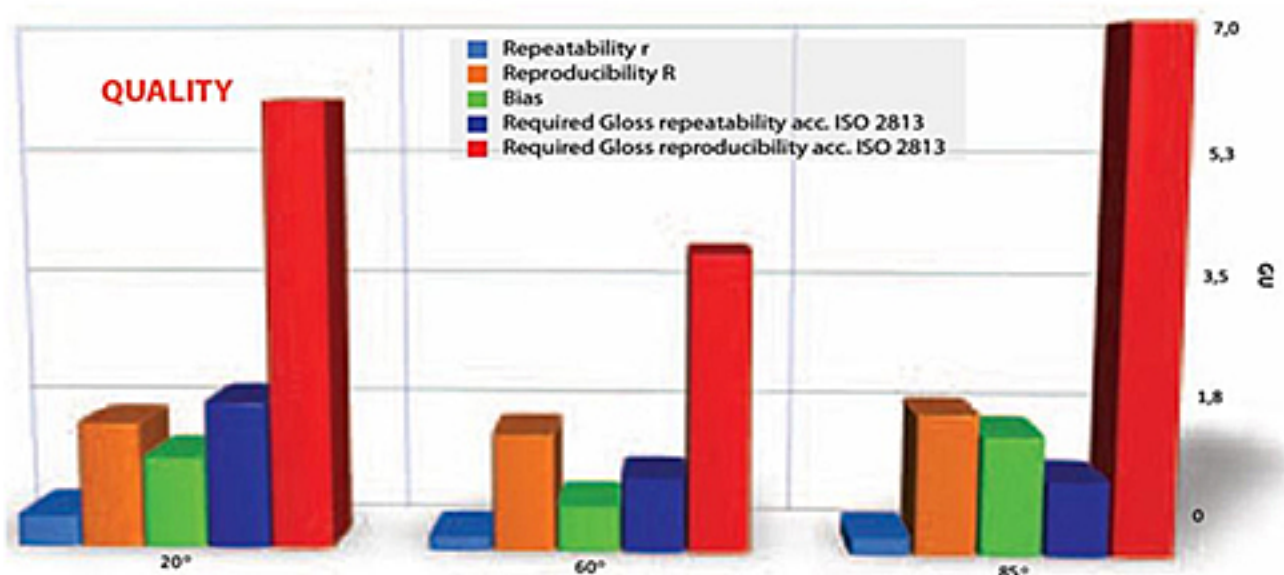
第2図は、ISOの要求する精度と、最新の3角度光沢計の実際の光沢度とを比較したものである。

図の補足説明をすると、縦の各棒(柱状)グラフは、左から光沢計の繰り返し精度、再現精度、バイアスを示し、さらに右側の二つはこれに対するISOの求める繰り返し精度、再現精度を示している。数字が小さいほど性能が優れるため、写真-2で紹介した光沢計はISOの

第3表 光沢計の精度規定(平均の差の絶対値)

精度 \ 角度	20°	60°	70°
繰り返し精度	2(GU)	10(GU)	10(GU)
再現精度	6(GU)	4(GU)	7(GU)

第2図
光沢計の性能とISOの
要求性能の比較例



性能要求を十分に満たしていることがわかる。

なお、本光沢計の場合、実際の測定時の性能を担保するため、BAM(連邦材料試験研究所)にトレーサブルとなっている校正用光沢タイル(屈折率 1.567 の磨かれた黒色ガラス)によって校正された(黒色)ガラスプレートが付属しており、その校正用光沢タイルと(黒色)ガラスプレートとの補正值が個々の光沢計にあらかじめ入力されている。光沢計を測定のたびに(黒色)ガラスプレートで調整することで、それぞれの測定は BAM にトレーサブルな校正に基づくものとなる。

5. 最近の光沢計の動向

現在、ISO の専門委員会 TC 35/SC 9(塗料の一般試験方法を担当)では、ISO 2813 の見直しと基準の修正検討が進められている。特に課題とされているのが、精度についての規定である。これまでの規定では、2 組 3 回読み取りの平均値の差の絶対値を精度として求めてきた。しかし、ISO の委員の間からこの精度に対して疑問が提起され、さらに詳しい精度を求めようとしている。

見直しの背景としてあるのは、まず、光沢計に関する研究が不足しているという点が挙げられるかもしれない。そのことから、ISO や ASTM(American Society for Testing and Materials)といった規格間において、光沢を計る基準における違いも生じている。塗装面の光沢の測定方法における主要な問題は、以下の 2 点である。

① 光沢計の基準値で使われているスペクトル線の波長の定義が統一されていない。

② 表面加工による粗さによる反射性の違いに関する規定がない。

(1) 統一されていないスペクトル線の波長

まず、一つ目の光沢計の基準値で使われているスペクトル線(Spectral line)の波長の定義の問題であるが、ここでいうスペクトル線とは、光沢計で表面の光沢度を測る時に用いられる光源のことで、その光源の波長の定義が規格間で異なっているのが実情である。

たとえば、ISO は d 線(ヘリウム)を用いているが、ASTM は D1 線(ナトリウム)を基準としている。実際にはこの二つのスペクトル線による波長の違いの差は約 1.7nm であるが、この差による光沢度の違いは無視できないレベルである。

第 4 表に、いくつかの規格において採用されている波長の違いを示す。

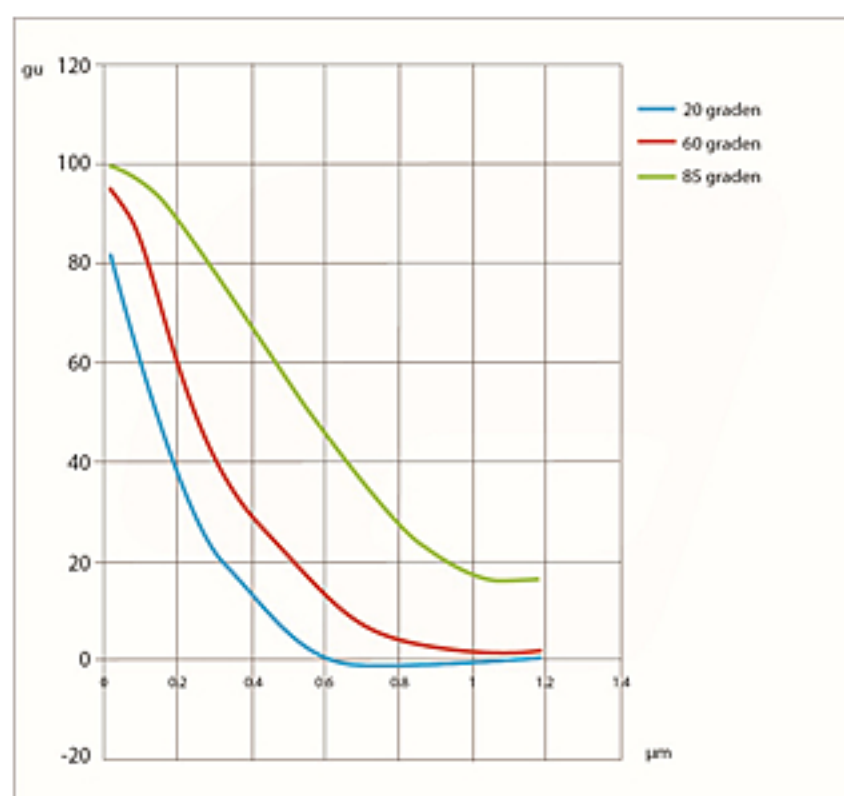
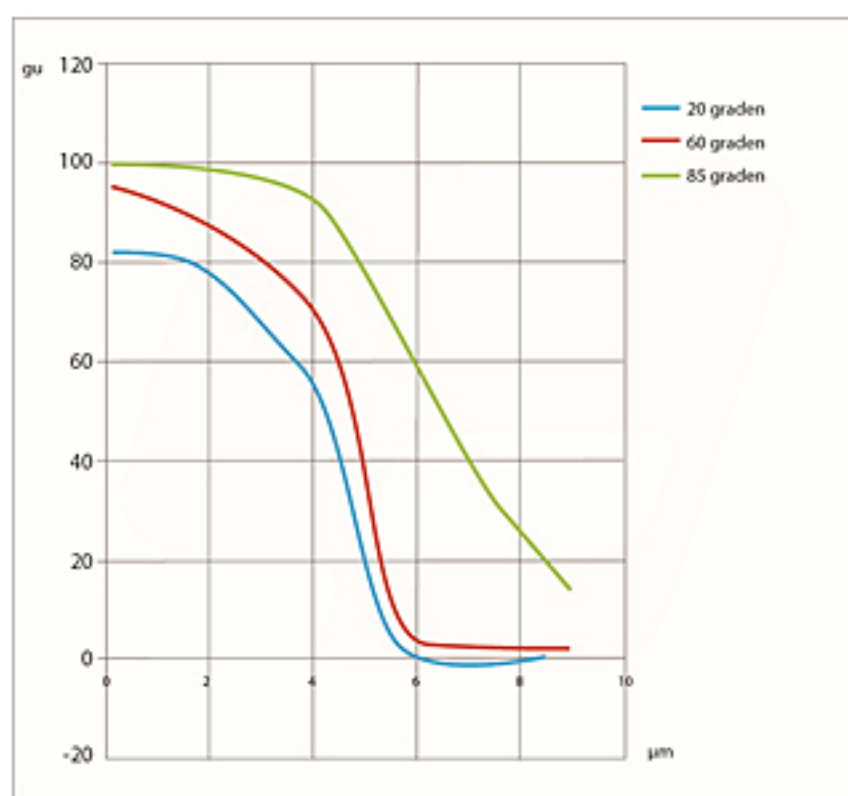
(2) 確立していない表面の粗さと反射性に関する理論

二つ目の、表面加工による粗さによる反射性の違いに関する規定の問題だが、残念ながらこれに関する重要な学術的な文献はまだ出現していないようだ。乾燥のメカニズムと表面粗さやユズ肌との関係に関する研究はなされているが、光沢と関連付けた詳しい基準はない。Beckman-Kirchhoff の散乱理論のような粗い表面上における光の挙動についてのいくつかの研究は行われてきたが、この理論はあくまで理論値であり、理論と鏡面光沢の測定方法に関する統合した学術研究がない。

第 4 表 各規格において採用されているスペクトル線の波長

Standard	nm	n	Spectral line	Finishing/Roughness	GU
ISO 2813 (JIS K 5600-4-7)	587.6 nm	1.567	d (He)	Per cm < 2 rings opt. interference	100
ASTM D 523	589.3 nm	1.567	D1 (Na)	Highly polished	100
ISO 7668	Not specified	1.567	Not specified	Per cm < 2 rings opt. interference	100
JIS Z 8741*	Whole range	1.567	ne	Not specified	100
ASTM C 584	Not specified	1.540	Not specified	Highly polished	94
ASTM D 1455	Not specified	1.567	Not specified	Highly polished	100
ASTM D 2457	Not specified	Fresnel	Not specified	Highly polished	100

注 * : 鋳工業製品の巨視的にみて平滑な表面の鏡面光沢度を測定する方法を規定した「鏡面光沢度—測定方法」で、対応規格は ISO 2813 と共に ISO 7668 : 1986 Anodized aluminium and aluminium alloys となっている。



第3図 表面粗さと光沢度の関係

しかし、表面の粗さは光沢に実際に影響があり、第3図に示すように表面が粗ければ光沢は低くなる。

第3図を補足すると、左の図は光沢度に対する十点平均粗さ(Rz)、右の図は光沢度に対する算術平均粗さ(Ra)を表しており、共通して縦軸に光沢度(GU)、横軸に粗さ(μm)をとっている。また、グラフにおける曲線は、両方の図で共通して下から20°、60°、85°の条件で測定した値を描いている。なお、このデータにはすべて黒色タイルが使われており、粗さによって光沢度が下がっていることがわかる。

もし、Beckman-Kirchhoffの散乱理論とFresnelの法則(光の屈折と透過に関するフレネルの式)の二つの理論が統合されれば、光沢用校正タイルが抱える曖昧(あいまい)さが解消し、ISOとASTMに共通な普遍的な光沢度が提供できるかもしれない。しかしながら、そのような理論はなく、現在の光沢計ではその粗さによる影響を明確に見ることは難しい。

(3) ISOの規格改訂への動向

このような背景から、ISOの委員会において、より統一した繰り返し性と再現性を得るためにラウンドロビンテストが重要だとする意見が出されている。ラウンドロビンテストとは、同一の試料を持ち回りで複数の試験機関において測定することであり、測定装置の信頼性を検証する試験である。つまり、何千もの試験板での測定が、光沢計の品質を確認するために必要にな

第5表 新ISO 2813で想定されている繰り返し性(r)と再現性(R)

Angle	Repeatability (r)	Reproducibility (R)
20°	3GU	4GU
60°	2GU	3GU
85°	1GU	2GU

るということである。このような試験方法を用いることによって、光沢計の精度を見るうえで今までよりもいっそう信頼性のある結果が得られると期待される。そのために、ISOは現在ある精度規定を書き換えて、新しい精度規定を規格に盛り込む検討がされている。

第5表に示すのは、ISOで新しく提唱されている、ラウンドロビンテストを行ったうえでの繰り返し精度(Repeatability)と、再現精度(Reproducibility)に関する規定である。

以上のように、私たちの身近にあるさまざまな塗膜や製品の光沢は、私たちの心理に強く影響を与え、そのことから光沢計を用いて光沢を客観的に管理することはますます重要になっている。しかしながら、光沢を測るうえでは、光沢度に応じた角度による測定方法や、繰り返し精度、再現性といった精度規定に基づいた精度の高い光沢計の使用が前提となるであろう。

さらに、ラウンドロビンテスト等に基づくより高い精度が求められていく方向にある。今後

の ISO の動向に注視すると共に、使用する光沢計がこれらの要求を十分に満足するものであるかを確認する必要がある。

最後に、光沢計は外観の管理だけでなく、生産管理において既存の管理を補完する重要な役割を果たし得ることを確認したが、詳しい内容は機会を得てまた報告したい。

《参考・引用文献》

- 1) (株)マルホン：「木材が及ぼす視覚効果について」
- 2) 日本油脂：実験ノート「S/N 比による鏡面光沢度の測定値の評価について」
- 3) 三原一幸：「解説塗料学」，第 15 章塗膜試験法，理工出版社
- 4) V001-8.6E0078 BAM-Aktenzeichen von Reflektometerwerten zur Glanzbeurteilung. (BAM)
- 5) NIST Special Publication SP250-70 Specular Gloss (Maria E. Nadal, Edward A. Early, E. Ambler Thompson)
- 6) NA 002-00-07 AA N 1322 EN ISO 2813 (D) Manuskript für prEN ISO 813 (deutsch)- Überarbeitung.
- 7) NA 002-00-07 AA N 1451 Auswertung Ringversuch ISO 2813 Glanz Messungen Teil 1
- 8) NA 002-00-07 AA N 1452 Auswertung Ringversuch ISO 2813 Glanz Messungen Teil 2
- 9) ISO TC 35/SC 9/WG 31 N147 Round robin, Gloss measurement of coatings with ISO 2813 (January 2011) Evaluation, statistics, summary
- 10) Handbook of Chemistry and Physics 75th edition (David R. Lide, CRC Press)
- 11) Experimental Relationships between Surface Roughness, Glossiness and Color of Chromatic Colored Metals (Makiko Yonehara, Tsutomu Matsui, Koichiro Kihara, Hiroaki Isono, Akira Kijima and Toshio Sugibayashi; The Japan Institute of Metals, 2014)
- 12) The Surface Roughness and Gloss of Composites (W.J. O'Brien, W.M. Johnston, F.Fanian and S. Lambert, School of Dentistry, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan 48109, 1984)
- 13) AFRL-ML-WP-TM-2007-4019 INFLUENCE OF SURFACE ROUGHNESS ON THE SPECULAR REFLECTANCE OF LOW GLOSS COATINGS USING BIDIRECTIONAL REFLECTANCE MEASUREMENTS Lisa M. Farrier
- 14) Richard S. Hunter, 'Methods of determining gloss', National Bureau of Standards Research Paper RP958.
- 15) 各 JIS, ISO, ASTM の規定