ハンディ型 BRDF 測定装置（表面反射アナライザー RA-532H）による質感の評価

加 藤 成 樹^a

^a キヤノン(株) (〒 321-3592 栃木県宇都宮市清原工業団地 20-2)

Evaluation of Surface Appearance Measurement by Handy BRDF System (Surface Reflectance Analyzer RA-532H)

Shigeki KATO^a

^a CANON INC. (20-2 Kiyohara Kogyodanchi, Utsunomiya-shi, Tochigi 321-3292)

Keywords : BRDF, Bidirectional Reflectance Distribution Function

1. はじめに

従来から、家電、自動車、カメラなどの民生品の質感はユーザーの顧客満足度を左右するため重要視されてきた。要求される質感要素は製品によりさまざまであり、例えば車の外観では、光沢感やオレンジピールに代表される塗装表面のうねり、カメラの外観では、シボ塗装のマット感などを人間が限度見本と見比べながら評価判定(主観評価)するのが一般的である。一方質感に関する特徴量を数値化する試みも従来から行われており、鏡面光沢度(JIS Z 8741)、ヘーズ(ASTM E430)、像鮮明性(JIS K 7374, ASTM E430)などで測定装置、評価量が制定され運用されている。これらの指標は、複雑な質感の一部を抽出しているため、表面状態の変化と測定値変化の対応付けがされている場合は使いやすいが、製品外観の高機能、高品位化を背景に、これらの指標では見た目と合わない場面が多くなり、近年は物体表面の反射特性を総合的にとらえる BRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function = 双方向反射率分布関数)が注目されている。本稿では、2次元 BRDF 測定機能をハンディタイプ測定機として世界で

初めて搭載した RA-532H (図 1)の紹介と、本製品の2次元 BRDF の測定例を用いて BRDF 測定の有効性を説明する。

2. 各質感指標の特徴

2.1 各質感指標の測定装置の特徴

質感とは、物を見た時に感じるツルツル具合やザラザラ具合を指す。観察者は、自然環境下や家の中などで経験してきた環境光源の元で、映り込み像のハイライト部分の明るさや、物の微細な凹凸によって生じる鏡面反射の方向のばらつきにより、ハイライトの輪郭がぼやける様を視認し、リアルに質感を感じることができる。一方、質感を物理現象として表現するには光の反射の振る舞いを表せばよく、ある方向から照射された光が、どの方向にどれだけの強さで反射されるかが分かればよい。一般には BRDF (内部散乱まで議論する場合は BSSRDF)がこれに相当する。

一般に BRDF を取得するためには、単一照明光と単一受光光学系をそれぞれ細かい角度で振りながらホトマルなどの受光素子で反射光量を取得するゴニオフォトメーターを使用し詳細に測定するが、装置は高価で測定にも時間がかかる。一方、グロスメーター(鏡面光沢度測定装置)やヘーズメーター(反射ヘーズ測定装置)は安価で測定速度も数秒以下と導入しやすく、実際の部品外観検査や外観に絡む開発評価の現場ではハンディタイプのこれらの測定機が広く運用されている。像鮮明性を測定する写像性測定装置はゴニオフォトメーターよりも安価であるが、卓上据え置き型で現場に持ち歩くことはできないので、使用されるシーンはこちらも限られる。

図 1 表面反射アナライザー RA-532H

表 1 各指標が表現する質感特徴

指標	質感特徴	変化要因
鏡面光沢度	映り込み像の明るさと鮮明性	反射率, 光の拡散度
反射ヘーズ	映り込み像まわりの曇り	拡散反射率, 光の拡散度
像鮮明性	映り込み像の鮮明性	表面の凹凸, うねり

2. 2 各質感指標の特徴および変化要因

各指標が表現する質感特徴を表 1 に示す。鏡面光沢度は正反射方向への反射光量を取得することに相当し、質感における映り込み像の明るさを表現する。また、鏡面光沢度の変化要因は、材料の反射率や、表面の平滑性に起因した光の拡散状態である。反射ヘーズは正反射近傍の光量を取得することに相当し、質感における映り込み像まわりの曇りぐあいを表現する。反射ヘーズの変化要因は材料の色味や明るさに相当する拡散反射率や、鏡面光沢度同様に光の拡散度である。像鮮明性は正反射成分の鋭さを取得することに相当し、質感における映り込み像の鮮明性を表現する。像鮮明性の変化要因は表面の凹凸やうねりである。特に現在規格化されている像鮮明性指標は、表面が平滑で映り込み像が明瞭に視認できるような対象物に有効である。

BRDF は反射の振る舞いを 2 次元的にとらえるため、これらの各指標の情報をすべて含んでおり、質感評価を総合的に行う有効な指標であるといえる。

3. RA-532H の技術と仕様

3. 1 測定機能

RA-532H の仕様を表 2 に示す。RA-532H は 20°、60°、85° の 3 角度から光を照明し、そのうちの 20°、60° についてはエリアセンサーで反射光を受光し、多機能な測定に対応している。光源は白色 LED を使用し、光学フィルターで装置特性を CIE 標準被視感度特性に合わせているため、対象物の色によって人の見た目と結果がずれることなく安定した結果が得られる。照明光学系には、JIS Z 8741 鏡面光沢度および ASTM E430 反射ヘーズに準拠した開き角の透過スリットが設けられ、規格に準拠した測定により、品質検査、出荷検査などの用途に対応している。また、エリアセンサーで出力したスリット像を独自の処理アルゴリズムにより数値処理し、点像分布関数としての BRDF を算出している。

この BRDF の測定領域は ± 5° の範囲と限られているが、

照明角度方向の分解能が 0.03° と非常に高く、塗装面の像鮮明性の評価など分解能が要求される測定では威力を発揮する。また、得られた BRDF データから、写像性測定値や光の拡散具合を示す独自の像鮮明性指標 C20 および C60 を算出している。

3. 2 独自像鮮明性指標 C20 および C60

RA-532H では測定した BRDF から独自の像鮮明性指標 C20 および C60 を出力している。C20 および C60 は、鏡面から完全拡散面までの幅広い対象物の光の反射具合を数値化した、新しい考え方の像鮮明性指標である。C20 および C60 は BRDF のスペキュラー成分に着目し、その広がり具合を数値化している。DOI (ASTM E430) や写像性測定方法 (JIS K 7374) のような従来の測定方法では、車の外装塗装のようにベース塗装の上にクリア層があるような面において、測定値がベース色に振られ絶対値測定ができない問題点があったが、C20 および C60 は映り込み像の明るさやベースの拡散反射に影響されることがないため、表層の反射に対する像鮮明性だけを数値化でき、威力を発揮する。また、測定範囲が鏡面から完全拡散面まで対応しているため、紙、印刷物、シボ加工面などの比較的反射光が広がりを見せる対象物についての質感に関する特性を初めて指標化した測定機でもある。以下に C20、C60 も含めて RA-532H の測定例を挙げるが、C20、C60 は数値が大きいほど光の拡散は大きく、像鮮明性は低下する。数値の大小関係が従来の像鮮明性指標とは逆になっている点は注意していただきたい。

4. BRDF の測定事例

4. 1 シボ加工面の評価事例

プラスチックや金属を成型、プレスする際に、金型の表面に細かい模様を付け成形品に転写するシボ加工の評価は、見本と仕上がり品を主観評価で見比べる方法が主流な分野の一つである。一般的には、主観評価で問題があると判定されると、光沢計で正反射方向への反射光量を測定し、粗さ計で実

表 2 RA-532H の仕様

対応方式	鏡面光沢度(グロス)	ヘーズ	写像性	C20, C60	BRDF
準拠規格	ISO2813, 7668	ISO13803	(JIS K 7374)※ 1	－	－
	ASTM D2457 ASTM D523	ASTM E430			
	JIS Z 8741				
照射角度	20, 60, 85°	20°	60°	20°, 60°	
照射径	10 × 4 mm (20°) 10 × 8 mm (60°) 5 × 15 mm (85°)				
分解能	0.1 GU	0.1 HU	0.10%	0.1 U	0.001
測定レンジ	0 ～ 2000GU (20°)	0 ～ 300Hu	0 ～ 100%	1 ～ 1000U	0 ～ 3000 ※ 2
	0 ～ 1000GU (60°)				表示範囲
	0 ～ 160GU (85°)				照射方向：＋／－ 2.5°
					垂直方向：＋／－ 5°
測定時間	4sec 以下				
光源	白色 LED				
受光素子	2 次元エリアセンサー				
寸法	60 (W) × 143.5 (L) × 50 (H)				
重量	本体：約 350 g 校正ユニット：約 80 g				

※ 1 規格準拠校正ではないが、規格相当の測定値を出力する。
※ 2 基準板(黒色ガラス)の反射光ピークを 100 とした値。

際の形状を測定することで仕上がり状態を数値化し、それぞれの違いについて議論される。しかし、よくある問題として、光沢計の測定値は見本と変わりが無いのに見た目では異なって見える現象や、粗さ計の測定値には差が無いのに見た目では異なって見えるという現象が挙げられる。

以下に、主観評価では差がみられるが、従来測定では見分けにくい2つのシボサンプルの測定例を紹介する。ABS樹脂(黒色)にシボ加工(シボ山ピッチは数10～200 μm 程度)を施し成型した2つのサンプルを、従来の測定方法である20°および60°のグロス値、触針式の粗さ計で表面粗さ(算術平均粗さ Ra、評価長さ10 mm)を測定した結果を表3に示す。RA-532Hはシボの微細な山谷形状に比較し十分な照射面積があり、測定値は照明領域の平均的な光の反射特性として捉えることができるが、サンプル表面の均一性に起因して測定箇所により測定値は10%程度ばらつくため、20か所の測定値の平均で評価している。2つのサンプルの測定結果を比較してみると、グロスおよび粗さ計による従来の測定方法には有意な差が見られず、前述したように、従来の測定方法では差が出ていない。一方、2つのサンプルのBRDF形状は、特に照明入射方向に垂直な方向の山型の形状が異なっており、光の拡散具合の異方性具合が異なるという差が捉えられてい

る。BRDF形状から算出したC20およびC60はサンプル1の方が20～30%低く、サンプル2の方が光をより拡散する反射性状を持っていることが示されるが、一方でBRDFのピークはサンプル1の方が10%程度大きくなっているため、JIS Z 8741 鏡面光沢度測定法のように、開口を通過した光量で評価するような手法においては差が出ない結果となることが分かる。

以上のようにシボ製造現場において、見た目に差があるが、従来測定手法で差が見いだせなかったケースに対して、RA-532HのBRDF測定機能と独自像鮮明性指標C20およびC60がシボの見た目の定量化の有効な手段となることが期待できる。

4.2 シボ塗装の評価事例

近年、各自動車メーカーはデザインの差別化をより鮮明に打ち出すようになってきている。外装塗装においては従来のメタリックやパール塗装に加え、マット塗装などがラインナップされる車種もあり、質感が今後重視される分野のひとつであると言える。特にマット塗装は、部品あわせ面などの境界線や、板金塗装の補修時に違和感がないようにするには、光の拡散具合を制御することが必要で、BRDFがより重要な評価指標になることが予想される。以下に、溶剤系黒塗料と水系黒塗料を使用し、見た目のマット具合が近くなるようシ

表3 樹脂成型シボ加工面の測定結果

		サンプル1	サンプル2
グロス	20°	0.3 GU	0.3 GU
	60°	4.3 GU	4.1 GU
算術平均粗さ(Ra)		4.64 μm	4.98 μm
60°のBRDF
C20		651	963
C60		360	461

表4 シボ塗装面の測定結果

		サンプル1	サンプル2
グロス	20°	0.4 GU	0.3 GU
	60°	5.3 GU	3.8 GU
	85°	2.7 GU	3.8 GU
20°のBRDF
60°のBRDF
C20		679	791
C60		683	609

ボ具合を調整し塗装をした2つのサンプルの測定例を紹介する。測定結果を表4に示す。前述したシボ加工面の評価と同様、各サンプル20か所の測定平均で評価している。

一般に、溶剤系の塗料は水系塗料に比べて光沢が高く、見た目の光の拡散具合を合わせるためには、より山の深いシボ形状が必要となる。このような見た目の合わせ込みをした場合、以下のような反射の特徴を考慮する必要がある。

- 1) 塗料に含まれる顔料は通常 $1\mu\text{m}$ 以下の粒子状であるので、光の照射角が浅くなると(映り込みを望む角度が浅くなると)光の波長以下レベルで反射面の高さが揃っていくため、波動光学的には鏡面に近くなり、正反射が強くなっていく。
- 2) 一方シボ形状は、数 $10\sim 200\mu\text{m}$ 程度の山谷形状なので、光の照射角(映り込みを望む角度)が浅くなった場合でも波動光学的にも山谷が保たれ、マットな状態が保たれる。

表4の測定結果には、見た目を合わせるために上記特徴の双方を考慮した結果が表れており、グロス 60° においては溶剤系黒塗装が水系黒塗装より光沢が高いが、グロス 85° においては光沢の大小関係は逆になっている。つまり、 60° と 85° 中間の角度において反射光の明るさが等しくなる角度があり、見た目の反射光の明るさが調整されている事が分かる。一方、光の拡散度であるC20(20° 照射の光拡散度)は溶剤系黒塗装よりも水系黒塗装の方が大きい(光の拡散が強い)が、C60(60° 照射の光の拡散度)は溶剤系黒塗装の方が大きく、大小関係が逆転している。つまり、2)による効果で溶剤系黒塗装は映り込みを望む角度が緩くなった場合でも、拡散度が

保たれていることが分かる。

以上のように、シボの見た目を調整する過程で、従来であれば、対象物に蛍光灯などの光源を映り込ませながら様々な角度で覗き込み、反射光の明るさと光の拡散具合など複数項目の微妙な主観評価の試行錯誤を必要としたが、RA-532Hの各照射角のグロス値や光の拡散度であるC20およびC60で数値化ができ、効率的な見た目の追い込みに有効な手段となることが期待できる。

5. おわりに

RA-532Hの測定事例から、シボ加工面や、マット塗装面におけるBRDFの有効性を紹介した。近年、質感計測においてBRDFの重要性が高まりつつあり、同時に規格団体では校正方法の検討やデータフォーマットの整備などが進められ、BRDFを積極的に使用していくための環境が整いつつある。RA-532Hは高空間分解能な2次元BRDFを高速で取得できる世界で初めてのハンディタイプの測定機であり、製品の外観検査にとどまらず、さまざまな分野にて応用されることを期待する。

(Received February 28, 2018)

文 献

- 1) 小松英彦; 質感の科学, p. 7 (朝倉書店, 2016).
- 2) JIS Z 8741-1997, 鏡面光沢度 - 測定方法
- 3) ASTM E430-97, Standard Test Methods for Measurement of Gloss of High-Gloss Surface by Goniophotometry
- 4) JIS K 7374:2007, プラスチック - 像鮮明度の求め方