

ステンレス素材向け機能性・意匠性黒色発色処理と分光測色計／アピアランス測定器による意匠性評価

アベル(株) 代表取締役 居相 浩介 氏、コニカミノルタジャパン(株) に聞く



アベル・居相 浩介氏

1. はじめに

自動車における内装・外装部品の意匠性向上や、建築部材の耐食性・耐候性・意匠性向上を目的に素材への表面処理がなされることが多いが、塗装やめっきなどの厚い皮膜をつける場合、通常は素地が隠蔽されて素材感が表出されなくなることが多い。

これに対しアベルでは、極薄膜によってステンレスの金属感を活かせる発色方法を用いた黒色発色材料「アベルブラック」を開発・提供している。高級感を演出するアベルブラックの深みのある濃い黒色は、トヨタ自動車の高級車「レクサスRC」の窓枠外装や光岡自動車の新型SUV「Buddy (ボディ)」リアのバックパネル(図1)などにも採用されている。

本稿では、アベルブラックの技術や付与特性などについて紹介するとともに、コニカミノルタの分光測色計およびアピアランス測定器を用いてアベルブラックの意匠性を評価した事例を紹介する。

2. ステンレス黒色発色材料

2.1 電解発色法の概要と特徴

アベルブラックが採用している電解発色法は、電気および薬品の酸化力によって、ステンレス表面に元から存在する酸化皮膜を膜厚 $0.4\mu\text{m}$ まで成長させ、光の干渉を利用して黒色を認識させる(図2参照)。下地金属と一体になっているため、めっき皮膜や塗膜と違って、はく離する心配がなく、ステンレスが本来有する耐食性や耐候性などの性能をより高めることを可能にする。

アベルブラックの $0.4\mu\text{m}$ という極薄膜の膜厚管理は難しい。例えばエリプソメータによって金属表面の皮膜の厚さを評価するには、下地の金属の光学定数(複素屈折率)が必要になるが、ステンレスでは不働態皮膜が強固なために素地の光学定数を正確に求めにくい。さらにアベルブラックはステンレス表面に元から存在する酸化皮膜を成長させているため、アベルブラック単体の膜厚を測ることは余計に難しい。

しかしながら、色差によって色ムラ、すなわち膜厚の均一性を判断することは可能である。このためアベルブラックの膜厚管理では、コニカミノルタ製の分光測色計が利用されている。

アベルブラックには下地金属の加工仕上げの違いなどによって様々な種類があり、鏡面仕上げしたステンレスの上に処理すると漆のような深く艶のある黒の鏡面(ピアノブラック)に仕上がりに、ショットブラストを施したステンレスの上に処理するとシックで落ち着いた印象のある黒色に仕上がる。

ステンレス材料の加工として研磨加工などによって対象物に一定方向で細い線状の傷をつけるヘアライン加工は、金属特有の質感を残しつつ、つや消しの効果を発現し高級感を醸し出す。しかしながら、膜厚 $10\sim 20\mu\text{m}$ という塗装や膜厚 $5\mu\text{m}$ というめっきをした場合、下地金属素地を覆ってしまい(図3中段および下段)、そのヘアライン加工の美しさを損なう恐れがある。

これに対して図3上段に示すとおり、電解発色を利用したアベルブラックは $0.4\mu\text{m}$ という薄い酸化皮膜のため、ステンレスの金属感と一方向に長く続く滑らかなヘアラインの仕上がりを残しつつ、ラインに黒のきらめきを生み出す。

3. アベルブラックの付与特性

3.1 反射防止性

アベルブラック処理を施した表面の黒色はすべての波長の光を吸収するため、反射光を弱め、光反射率を低下させる(図4)。したがって、アベルブラック処理されたステンレスは非常に優れた光反射防止効果を生み出す。また、アベルブラックの膜厚は



図1 光岡自動車「ボディ」リアのバックパネルに採用されたアベルブラック

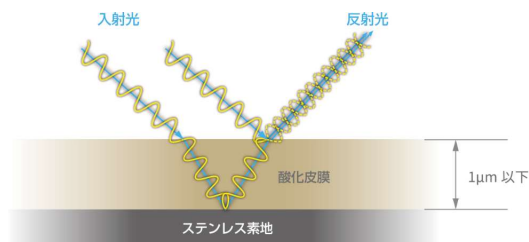


図2 発色の原理

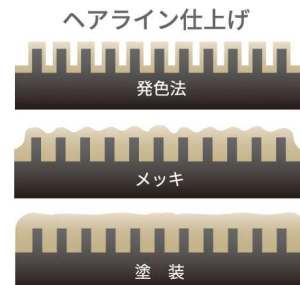


図3 ヘアライン仕上げ後の各種成膜の比較

0.5 μ m以下で細部まで均一な成膜が可能のため、小型の光学部品など寸法精度が要求される部品に最適で、自動車センサーの逆光防止・反射防止や、車載カメラの映像をより鮮明にするための遮光部品などに適用できる。

さらに、下地に荒らす工程をプラスすることによって、要求に応じた低反射の表面を作ることも可能としている。

3.1.1 放射率(輻射率)

アベルブラックは、ステンレス材料の放射率(吸収した熱が、再度表面から出る程度。放射率ともいう)を向上させる(図5)。熱伝導に優れているため、真空乾燥装置や昇温・冷却装置などへの処理によって、熱吸収・熱放射を発揮する高機能材料としても役立つ。

3.2 つや消し・マット

ショットブラスト処理で表面を荒らしてからアベルブラック処理をすることで、マットな仕上げとすることができる。

3.2.1 素材としての優れた機能性

アベルブラックの黒色酸化皮膜は、絞り加工でも白化せず、90°曲げ加工でも割れることなく、打ち抜きや切断加工でも皮膜が剥がれないため、無垢のステンレスと同等の加工性を実現する(図6参照)。各種成形後の塗装などの表面処理を必要としないため、以下の利点が得られる。

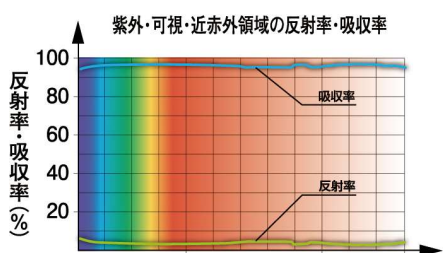


図4 反射防止性



図6 自動車用ウィンドウモール：樹脂との良好な一体成形がなされている

1. コストダウン

成形品からの表面処理ではないため、後発色よりも費用を抑えることができる。

2. 表面処理工程の削減

加工後、自社または外注先で表面処理をする必要がないため、工程を削減することができる。

3. 加工精度を保つ

膜厚が薄いため、特殊なプレス成形技術で加工した精度を維持することができる。

4. 変形の心配がない

輸送による変形のリスクが低くなる。

3.2.2 耐食性

アベルブラックは従来法に比べて酸化皮膜が厚いため耐食性が格段に向上、塩水噴霧試験で500時間変化しない。塩水第二鉄試験(JIS G 0578：ステンレス鋼の塩化第二鉄腐食試験法)では、アベルブラックを施したステンレスは、もともとが錆びにくい無垢なステンレス素材に比べ30倍の耐食性を示す。

3.2.3 耐熱性

アベルブラックは大気中300℃まで変色せず、真空中では、さらに高温まで耐えることができる。

3.2.4 耐候性

アベルブラックは耐候性に優れ、スーパーキセノンウェザーメーターによる耐候

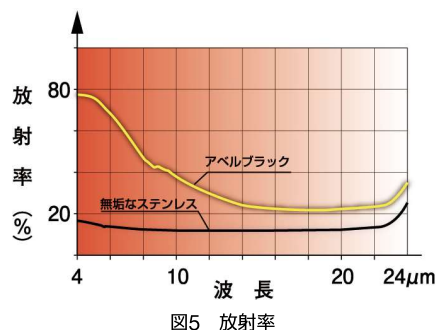


図5 放射率



図7 スピーカーグリルに用いられる特殊研磨を施したアベルブラックの例

性試験で1000時間経過後も変色しない。

3.2.5 耐薬品性

プレスの際の油除去に使用する脱脂剤への耐薬品性に優れている。

3.2.6 環境に優しい

アベルブラックはRoHS指令に準拠し、Pb、Hg、Cd、Cr⁶⁺などの有害物質を含まない。

3.2.7 リサイクル性

無垢なステンレスとアベルブラック皮膜はほぼ同成分のため、スクラップも分別する必要がない。

アベル代表取締役の居相浩介氏は、「ステンレス素材の質感を損なうことなく、重厚感があり、極めて意匠性に優れた漆黒を発色できるアベルブラックは現在、自動車であればピアノブラックにしてもマット調にしても高級車に採用されているほか、安全性を支えるセンサー類などに採用されている。さらに採用点数を増やすとともに、当社における生産性を高めていくことで、普通車でも採用されるようになればと考えている。また、高級車、さらには次世代車両では、室内空間の快適性が求められる。例えば光を当てることで煌めきのある美しいデザインが浮かびあがる特殊研磨を施した、アベルブラック(図7参照)を用いたスピーカーグリルなどを提案しているが、こうしたデザインは、車内を落ち着いた豊かな空間に演出してくれるものと考えている」と語る。

4. 分光測色計CM-26dG/CM-M6とアピランス測定器Rhopoint TAMSTMによる鏡面研磨ステンレス黒色発色材料(ピアノブラック)の意匠性評価事例

高級仕上げの感があるピアノブラックと呼ばれる仕上げは、文字どおりピアノの光沢のある深い黒に由来する。もともとは国内ピアノメーカーが黒漆の仕上げで世界に向けて出荷したのが始まりであるが、アベルの「ピアノブラック」の呼称は、同社の建材用鏡面研磨黒色仕上げステンレス材をユーザーが「ピアノブラックのよう」と評したことに始まっている。

アベルのピアノブラックは光沢のある深い黒色を呈しているものの、定量的に示す

にあたって、従来の分光測色計では黒色などの低反射試料を測定すると分光反射率がばらつき、正確な評価が難しいという課題があった。

これに対し黒色という低反射試料でも繰り返し再現性の高い高精度測定が可能で1台で色と光沢の高速測定が可能なコニカミノルタ製分光測色計「CM-26dG」や、6角度マルチアングルモデルの分光測色計「CM-M6」、表面粗さ・ゆず肌の評価ができるアピランス測定器「Rhpoint TAMS™」を用いて、意匠性の高い鏡面研磨ステンレス黒色発色材料(ピアノブラック)「アベルブラックMR」の測定を実施した。ここではその測定・評価事例について紹介する。

測定試料として、①評価対象となるステンレス鏡面仕上げ材へのアベルブラック「MR」(ピアノブラック)と、意匠性の高い黒色材料の比較材料として②ステンレス

BA仕上げ材(光輝焼鈍(ブライタニール)によって高光沢を得たステンレス材)へのアベルブラック「MA」、③加工しやすい素材である黒ABS樹脂板、④黒塗装板、⑤黒加飾フィルム、⑥黒漆を用意(図8)し、それぞれ色と光沢、外観アピランスを測定・評価した。

4.1 分光測色計CM-26dGによる測定・評価

人が塗装面や樹脂材などの一般的な物の色を見る時は拡散反射光を見ている。SCE方式では、拡散照明下で正反射光を除去し、拡散反射光だけを測定しているの、目視に近い色の評価となる。これに対しSCI方式では、正反射光を含んで測定するため、表面状態に関係なく素材そのものの色の評価となる。つまり目で見たままの色ならSCE、素材そのものの色ならSCIと

いう棲み分けとなる。CM-26dGでは従来の分光測色計に比べノイズを1/6に低減、黒色測定時に $\sigma \Delta E^*ab$ (SCE)が0.2→0.03に改善している。

図9に、CM-26dGを用いてアベルブラックMRの同一箇所を10回連続測定した時の繰り返し性比較(左がSCI、右がSCE)を示す。従来の分光測色計では分光反射率が大きくばらつくのに対し、CM-26dGでは、SCI、SCEともに繰り返し性が優れていることが分かる。

アベルブラックMRが極めて黒く見える、すなわちアベルブラックMRの色を測定したとき、SCEの L^* が極めて小さい結果となっている。また、もう一つの特徴、アベルブラックMRが色味の全くない極めて純粋な黒に見える、すなわちアベルブラックMRの色を測定したとき、SCEの a^* や b^* がほとんど0という結果も示している(図10)。



図8 測定試料

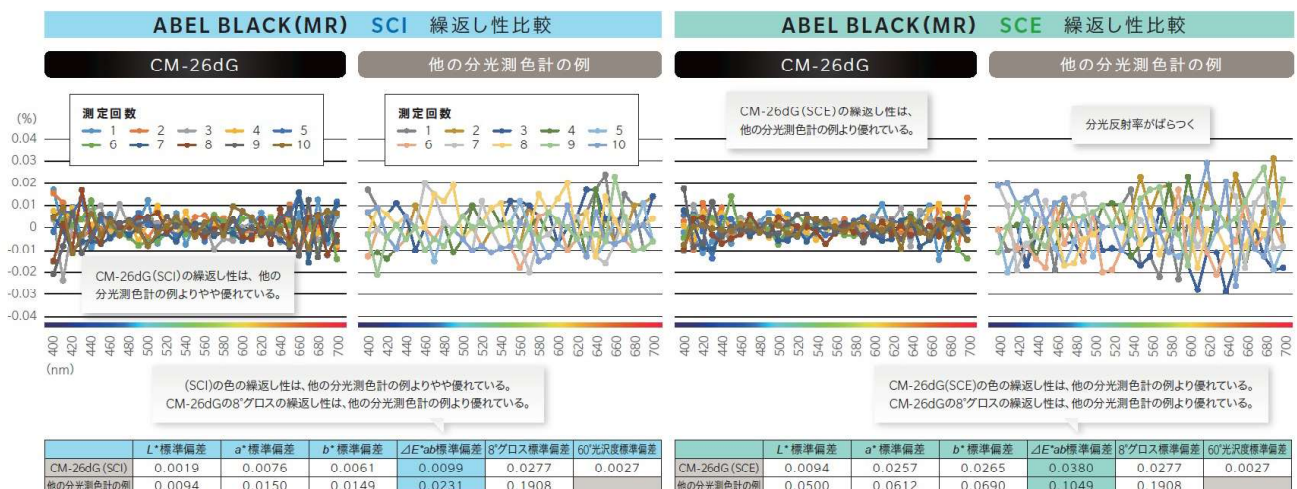


図9 アベルブラックMRの同一箇所を10回連続測定した時の繰り返し性比較(左がSCI、右がSCE)

4.2 分光測色計CM-M6による測定・評価

CM-M6を用いて、45°で照明し、正反射角45°に対して-15°~110°の分光拡散反射率(図11)／色彩値 $L^*a^*b^*$ (図12)を測定した。その結果、**1**のアベルブラックMRがすべての角度で最も散乱が小さく、どの角度で見ても黒く、方向性がないことが分かった。
 ※測定条件：1方向照明(45°)、6方向受光(-15°~110°)、測定径φ6mm、観察条件D65光源・10°視野

4.3 アピアランス測定器Rhopoint TAMS™による測定・評価

Rhopoint TAMS™は、Rhopoint社、Volkswagen社、AUDI社共同開発による、塗装表面のアピアランス品質を定量化するための測定器であり、今までにない斬新な管理指標として、コントラスト、シャープネス、ウェーブネス、ディメンションを搭載している。人の目視感覚と表面状態の特徴に合わせた独自アルゴリズムが、高い目視相関を実現しているため、塗装以外の被測定物にも用途が広がってきている。

図13に、Rhopoint TAMS™を用いた6試料のアピアランス測定の結果を示す。

コントラストは測定対象物の色彩と関連があり、白やメタリックの表面を測定した場合は低い値を、深い黒ならば高い値を示す。図13(a)から、**1**のアベルブラックMRは100%で、深い黒色であることが分かる。シャープネスは、測定対象物の表面に反射する像の性質を定量化したもので、100%であれば完璧な反射であることを意味する。図13(b)から**1**のアベルブラックMRはほぼ100%と完璧な反射であることが

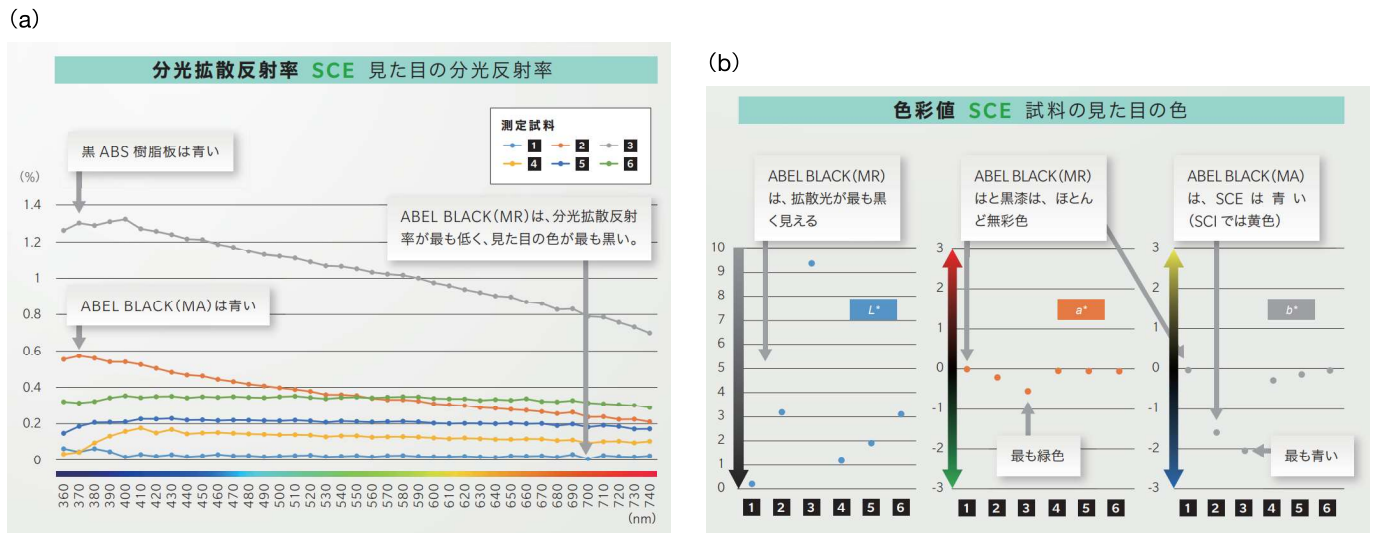


図10 アベルブラックMRを含む六つの試料の (a) 分光反射率と (b) 色彩値 $L^* a^* b^*$ (SCE D65 10° 視野)

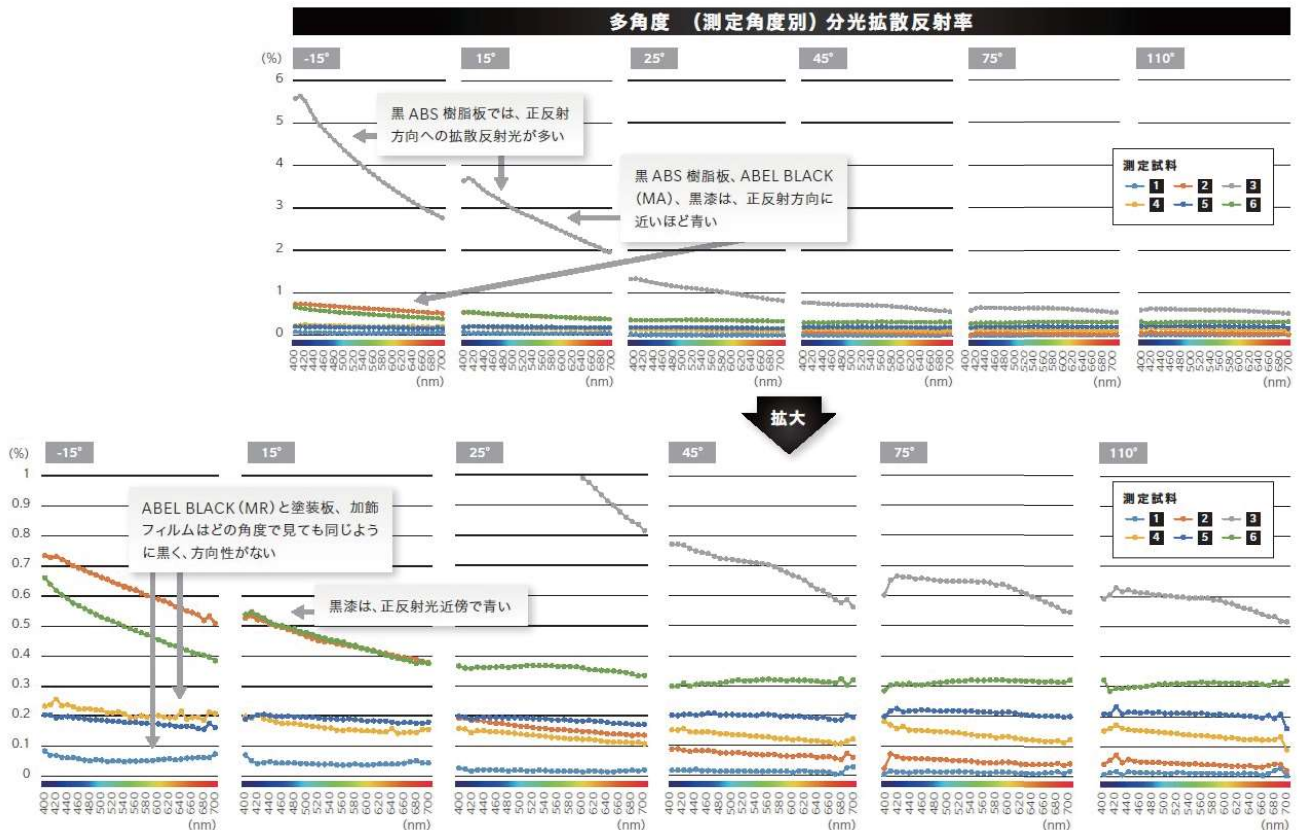


図11 多角度(測定角度別)分光拡散反射率

分かる。

ウェーブネスはショールーム距離(ショールームにて眺める距離、1.5m)で表面の「ゆず肌」を見た際に、その観察者に与える視覚的影響を人間の知覚と相関づけた上で定量化したもので、低い値ほど反射像のゆがみが少ない。外観品質を決定するのに重要な要因の一つで、一般的にウェーブネスが低い表面状態が好まれる。また、ディメンションはショールーム距離で見た際に最も目立つ構造サイズのこと、写像のゆらぎの大きさを示し、低い値ほどゆらぎが少ない。図13(c)および図13(d)から1のアベルブラックMRはウェーブネスとディメンションでいずれもほぼ0の値を示し、

像のゆがみとゆらぎがほとんどないことが分かる。

また、総合的な評価指標であるクオリティの結果を図14に示す。クオリティは、一つの値で処理した表面のトータル外観アピランスを表し、値が100%であれば完璧な反射を持つ滑らかな仕上げを意味する。ウェーブネスとシャープネスの測定像を用いて算出され、観察者の目視に近い評価が得られる。図14の結果から、1のアベルブラックMRは、目視による評価のとおり、ピアノブラックの名のとおり滑らかで光沢のある深い黒に仕上がっていることを示している。

以上のように、黒色の総合評価が難しかった従来の分光測色計に対し、コニカミノルタの分光測色計およびアピランス測定器によって、意匠性の高い黒色材料とされる6試料が定量評価され、アベルブラックMRがピアノブラックの光沢のある深い黒であることが確認された。アベルでは、反射防止目的で使用されている粗面化ステンレス黒色発色材料についてもコニカミノルタの分光測色計を用いて測定・評価しており¹⁾、同社の分光測色計が多種多様な黒色材料の測定・評価に適用できることを示している。

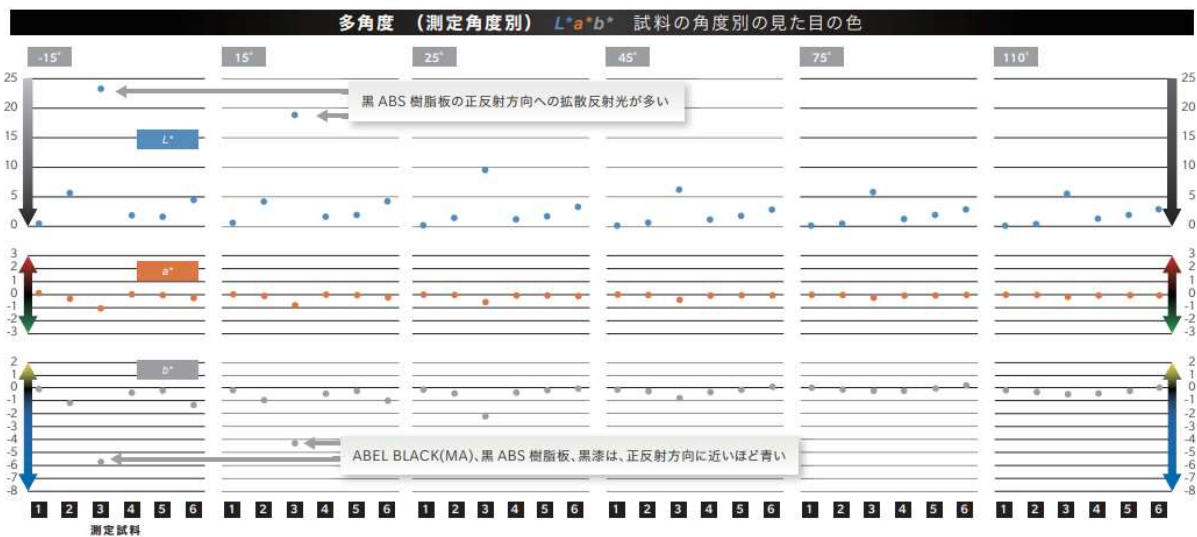


図12 多角度(測定角度別)色彩値L*a*b*

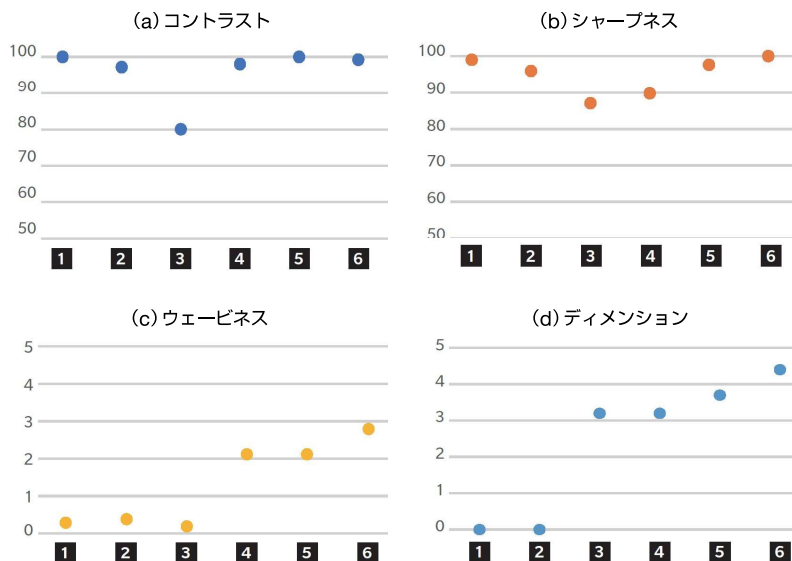


図13 4評価指標に基づく測定結果

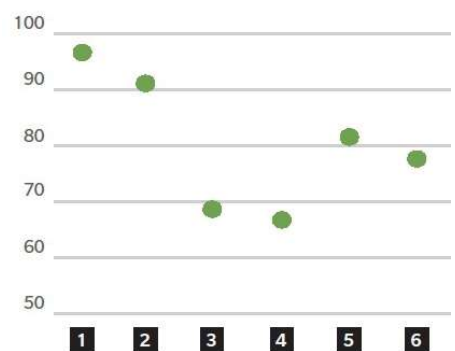


図14 総合的な評価指標：クオリティ

参考文献

1) 青木善一、居合浩介：ステンレスの電解酸化発色と各種表面加工による製品の品質管理、表面技術、Vol.70、No.12 (2019) 608-612.