



## 表面処理技術が創り出す色の世界

近年、様々な金属素材の特徴を活かして従来にはなかった色を楽しむアクセサリが注目を集めている。また色のバリエーションを駆逐することで医療や食品工業でも新たな用途が広がっている。そこで今号では、金属の表面処理技術に注目し、多様な着色や発色の技術を紹介する。

陽極酸化処理によるブローチ「HANA」(有)落合製作所製。最大サイズ直径6 cm、重量は16 gと軽い。

### 広く知られるアルミニウムの陽極酸化処理

金属製品の表面処理技術の中でも、広く知られているのがアルミニウムの陽極酸化処理(アルマイト処理)である。陽極酸化処理は1923年(大正12年)に日本が開発した技術で、「アルマイト」という名称は生みの親である理化学研究所の登録商標である。

アルミニウムは自然環境下でも薄い酸化皮膜に覆われており、この皮膜によりアルミニウムの素地が守られるため、優れた耐食性が得られる。

陽極酸化処理は、硫酸水溶液などに浸漬したアルミニウムを陽極電解し、酸化させて人工的に酸化皮膜を生成させる技術である。陽極酸化皮膜は無色透明な多孔質体で、表面に数nm~数十nm程度の微細孔が高密度に存在している。

染色は、アルミニウムを液体の染料に浸し、微細孔に色を吸着させた後、水蒸気や沸騰水を用いて封孔処理を行う。人工的に生成された酸化皮膜は自然環境下での酸化皮膜よりも厚く、耐食性、耐摩耗性に優れる。皮膜は無色透明で、アルミニウムの素材や質感を損なわずに染料着色(染色)することが可能である。

### 精密板金加工との融合で誕生したアクセサリ

精密板金加工を強みとする(有)落合製作所(東京)では、アルミニウムの陽極酸化処理の特徴を生かしたアクセサリ

製作に取り組んでいる。その代表的な製品が、外部デザイナーや協力会社と検討を重ねて生み出した花形のブローチ「HANA」(2ページ上画像を参照)である。8枚の花びらを模した大中小3枚のパーツを重ねて使用する仕組みだが、1枚でも美しく見えるように工夫されている。針ではなく布を挟んだ両面から強力な磁石で留めるため、服やバッグなどに穴を開けずに装着できる。

材料に使用するのは、アルミニウムにマグネシウムを添加したアルミ合金(JIS A5052)であり、切削性が高く、防食、耐摩耗、染色性に優れる特徴を持つ。同社の工場(横浜市)でレーザーカット、バリ取り、曲げ加工を行い、染色は(株)三協アルマイト(東京)が担っている(図1)。また、落合製作所では、ブローチの他にもイヤリングやカラー(付け衿)などの製作を手掛けており(図2)、それらの材料はすべて厚さ1mm以下の薄いアルミニウム板である。

アルミニウムは軟らかく傷がつきやすいため、切断加工を丁寧に行う必要がある。レーザーカットを行うレーザー加工機は安全機構上、材料が薄いと自動的に照射を停止させる場合があるため、加工機のテーブルとアルミ板の間に細長い金属板で隙間を作った上でレーザー照射するなど、製作の随所に細かなノウハウが生かされている。

素材を花びらの形にカットした後はバリ取りを丁寧に行い、サンドブラストで細かい砂を用いて研磨し、表面のつや消しを行う。その後の曲げ加工では、花びらの角度が揃うように細心の注意が払われている。

## アルミニウムの陽極酸化処理によるアクセサリ

(有) 落合製作所

図1 「HANA」の製造工程

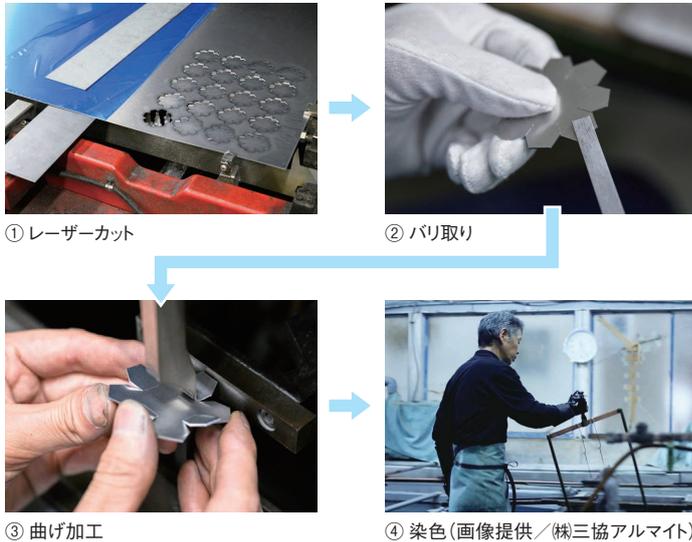


図2 精密板金加工技術を生かしたイヤリング(中央)と付け衿

微細なデザインにも水のようにサラサラした染料を用いることで美しい染色が実現する。



図3 アルミ染色ワークショップのようす

(左) 色見本を手本にした指輪の製作  
(右) 染料に浸した名刺入れのパーツ

## 優しい色を作り出す「染色」

「HANA」には15種類の色があり、それらはグレー、薄紫、ライトピンク、シャンパンゴールドなど、服に合わせやすいバリエーションとなっている。開発当初は塗装を用いていたが、素材の金属感が損なわれるため、透明感の出る陽極酸化処理による染色に変えた。また、陽極酸化処理が日本発祥の技術であることから、「和」を感じさせる色を意識して開発したのだという。

工業製品のカラーアルマイトは濃いピンクや青といった鮮やかな着色が多いが、同社が手がけるアクセサリの色は柔らかく、優しい雰囲気が漂う。その理由は、染色時に複数の色を組み合わせ、浸漬時間を微妙に調整しているからである。しかし染料は混合させることができないため、2色使いの際は2度に分けて染色しなければならない。色の出方は気温や処理液の温度によって異なるため、納得のいく色を実現するために何日も費やした。細かい色の要求に応じてくれる協力会社の存在がなければ、HANAの15色は実現しなかったという。

なお同社では、大学や商業施設でアルミ染色ワークショップを開催し、表面処理技術の魅力を伝えている(図3)。

## 金属アレルギーを起こしにくいジルコニウム

結婚指輪にオリジナルデザインを求め、素材も貴金属ではなくレアメタルを選ぶ人が増えている。オーダーメイドのブライダルジュエリーを製作する(有)ソラ(東京)では、ジルコニウム、タンタル、チタン、プラチナ、ゴールドを扱い、巧みな彫金技術で多彩なデザインを生み出している。中でも、ジルコニウムは鮮やかな発色を可能にし、金属アレルギーを起こしにくい素材であることから人気がある(図4)。

ジルコニウムの色は、染料を使って着色するのではない。ジルコニウムを電解溶液に浸し表面に透明な酸化皮膜を生成させることで発色する(図5)。酸化皮膜は透明なのに色が見えるのは、「光の干渉」によるものである。これは、皮膜の表面と内側で反射した光が重なり合うことで色が見える現象で、シャボン玉が虹色に見えるのと同じ原理である。ジルコニウムでは、酸化皮膜の膜厚が薄いものから青紫、青、黄、オレンジ、ピンク色へと変化する(図6)。

ジルコニウムは酸やアルカリに対しても非常に安定しているため、汗や皮脂などに反応しにくい。また、生体組織との適合性が高いことから、肌に直接触れても金属アレルギーを起こす心配が少ない。同社はジュエリーショップとして最初に金属アレルギー協会に加盟し、スタッフ5名が金属アレルギーマイスターの資格を取得して顧客に金属に関する的確な知識とサービスを提供している。

## ジルコニウムの新たな魅力を表現

(有)ソラ



内側(または外側)だけを発色させて素材自体の色と併せて楽しむものから、グラデーションカラーや彫金で模様を施したものまで、様々なデザインがある。

図4 ジルコニウムの特性を生かした結婚指輪



図5 特殊溶液中での酸化皮膜生成



図6 酸化皮膜の厚さによって変化する色のサンプル



図7 丹念な手作業による加工

## 時の流れとともに色の変化を楽しむ

素材としてのジルコニウムは金やプラチナよりも硬く、耐久性に優れるが、それだけに casting が難しい。同社ではパイプ状の原料を削り出して様々な指輪の形状を作り、そこに精密なデザインを描くといった工程をほぼ手作業で行っている(図7)。

硬質で軽いジルコニウムは、長く身につける結婚指輪の素材に適している。ただし、酸化皮膜よりも硬い物体に当たると傷がつき、それが重なることで色落ちする場合もある。一方、5年、10年と使い込むうちに、凸になった模様の部分だけが色落ちして素材の色が浮き出てくる楽しみがある。また、鏡面仕上げのものが徐々にマット状になったり、その逆もあるなど、長く使用することで様々な変化を楽しむことができる。さらに、酸化皮膜を磨き落とせば再発色が可能になり、例えば結婚の周年記念で色を変えることもできる。このように酸化発色の特徴を生かして長年愛用できることもジルコニウムの魅力といえる。

## ステンレス鋼の美しさを生かした酸化発色

ステンレス鋼に色を付けるにはめっきや塗装などが用いられているが、ステンレス鋼素地の光沢やテクスチャーを生かすのは難しい。酸化発色は、ステンレス鋼が本来有す

る耐食性や光沢を生かした表面処理技術である。

ステンレス鋼の表面には、母材中のクロムが酸化してできた厚さ3 nm程度の無色透明な不動態皮膜が生成されている。酸化発色は、自然な不動態皮膜の100倍程度にあたる厚さ約0.1~0.3 μmの酸化皮膜を化学的に生成させる技術である。酸化皮膜には着色成分は一切使用せず、光の干渉により様々な色調を得ることができる。

(株)中野科学(新潟)は、ステンレス鋼など各種金属の表面処理技術の開発や用途展開に取り組む金属表面処理メーカーである。1990年代から酸化発色技術の研究開発に取り組み、量産技術を確認し、安定した品質が得られるようになった。同社では、パープル、ゴールド、グリーン、ブルー、ブラックの5色(SUS304およびSUS316の場合)をベースとし、カトラリーなど多くのステンレス鋼製品への適用を進めている(図8)。

## 膜厚コントロールで求める発色を再現する

ステンレス鋼の酸化発色によって生成される酸化皮膜は無色透明なので、ステンレス鋼素地に施した鏡面仕上げ、ヘアラインなどの表面仕上げや、レーザーマーキングによる加工などをそのまま生かすことができる。

この酸化皮膜は極めて強固で、優れた耐食性が得られる。耐久性の点では紫外線による劣化がなく、半永久的

## ステンレス鋼の特徴を生かした酸化発色技術

(株)中野科学



図8 酸化発色による  
カラー  
バリエーション



薬品を入れた溶液中で酸化皮膜を生成した後、純水で洗浄する。

図9 酸化発色の作業風景



図10 酸化発色を生かして識別性を  
高めたトレイ

に発色を保ち続ける。酸化皮膜の成分はステンレス鋼と同じであり、使用後はそのままリサイクルできるメリットもある。このように酸化発色は、意匠性と機能性とを兼ね備えた表面処理技術と言える。

酸化発色の工程で、薬品を入れた処理槽に製品を浸漬すると、表面に酸化皮膜が生成される(図9)。製品と薬品の反応を電氣的に測定することにより、酸化皮膜の膜厚を $\mu\text{m}$ 単位でコントロールし、求める色に対し精度の良い発色を可能としている。

求める色調を得るために重要なポイントの一つが、素材の管理である。例えば、ステンレス鋼板の圧延ロットが異なる場合や、同じロットでも研磨仕上げが不均一な場合、色ムラの原因となる。以前は職人の経験を頼りに作業を行ってきたが、現在ではICP発光分光分析処理やイオンクロマトグラフなどを導入し、定量的な品質管理を行っている。

### 期待される新たな用途展開

酸化発色の特徴を生かした用途として、食品工業のエリア識別に生かした例を紹介する。食品工場では、各工場のエリアごとに使用する台車に色を決めて酸化発色したパーツを取り付け、使用する材料や製品を正しく搬送したり、不純物の混入がないようにしている。色による識別

は見た目でも直感的に判断でき、作業者の熟練度などによらず、文字だけでは伝えにくいことも正しく伝えられるという(図10)。

また酸化発色で、医療器具の反射率の調整を図ることもできる。元々医療分野では、耐食性や強度に優れたステンレス鋼が多く使われている。例えば歯科治療で口内に光をあてる時、光沢のある器具では光が反射してまぶしく、治療がしにくい場合があった。そこで適用されたのがブラックの酸化発色である。発色だけでなく、予め製品の表面をマット調に仕上げしておくことによりさらに反射率を抑えることに成功している。

酸化発色の今後の課題の一つに、発色のバリエーションを増やすことが挙げられる。酸化皮膜の厚さ調整のみで得られる発色は色の種類が限られている。そこで、酸化発色前にマット加工、ブラスト加工、ヘアライン仕上げなどの表面仕上げを組み合わせることによって、発色のバリエーションを増やす技術が期待されている。

ステンレス鋼の酸化発色技術はこれまであまり知られていないが、発色の美しさと機能性では、他の表面処理技術にない特徴を発揮する。新しい表現の世界が広がることに期待したい。

●取材協力 (有)落合製作所、(有)ソラ、(株)中野科学  
●文 杉山香里