

# 大気酸化法による Ti 製マフラーの新着色技術開発

## Development of New Coloring Method using Air-Oxidation for Silencer Body in Titanium

高橋 尚久 Naohisa Takahashi 研究開発センター基盤技術研究室

### 1 はじめに

排気系部品は高温下で使用され、しかも急加熱・急冷により生じる熱膨張・収縮が激しいため、カラー塗装やほうろうなどの表面処理は、変色や剥離が生じ、カラー化することは困難であった。バフ研磨したステンレスを金色に着色する例はあるが、300℃以下の低温域での使用に限られる。筆者らは、いつか排気系部品に宝石のような色を付けることを夢見ていた。その第一歩として新しい着色技術を開発し、2000年モデルYZF-R1において、チタンサイレンサボディをヤマハ発動機(以下、当社という)独自の青色に着色することができたので紹介する。

### 2 開発の狙い

市販のモーターサイクルにおけるサイレンサは、消音の目的のみならず、外観部品としてのデザイン性・新規性、走行性能向上のための軽量化などの要求がある。サイレンサボディには、図1に示すようにCrめっき、ステンレスのバフ研磨、アルミニウム成形品、GFRP外筒など様々な仕様が生産されているが、各社とも類似のモデルを市販しており、デザイン上差別化ができにくくなっているのが現状である。

こうしたことから軽量高強度材としてのチタンを採用する場合、外観的に他の材質との差別化が重要となる。

たとえば図2に示すチタン製サイレンサは、バフ研磨仕上げのため、ステンレスとの区別がつきにくく、チタンとしてのアピール力に欠ける。また熱伝導度の小さいチタンは、バフ研磨において焼き付き易いため、量産性に問題があり、加工コストも高くなってしまふ。

一方、図3のようなレース仕様車におけるチタンマフラーは、高温酸化により虹色に変色しており、これがチタンらしさを発揮しているとも言われている。

当社も2000年モデルYZF-R1において、軽量化のためチタンマフラーを採用することで開発が始まった。この場合チタンらしさをアピールするため、青色に着色した

サイレンサボディが要求された。しかしこのボディの表面温度は、非常に高くなり、しかも自然光に長時間さらされるので、通常の耐熱塗装等では変色による商品性低下が避けられず、カラー化するのは至難の技と言われていた。

そこで筆者らは、耐高温変色性や耐候性に優れた着



図1 各種サイレンサー仕様



図2 バフ研磨仕上げのチタンサイレンサ



図3 レース車のチタンマフラー

色皮膜を得るため、独自の新着色技術を開発することとした。モデルの開発期間内に合わせ、新しい着色技術のコスト・量産工程の作り込み、品質の安定性などを達成することはもちろん必須であるが、また「チタンらしい色」とはどんな色かをアピールすることも重要であった。

実際に量産した YZF-R1 のチタンサイレンサボディの外観を図 4 に示す。



図 4 2000 年モデル YZF-R1

### 3 チタンの着色法

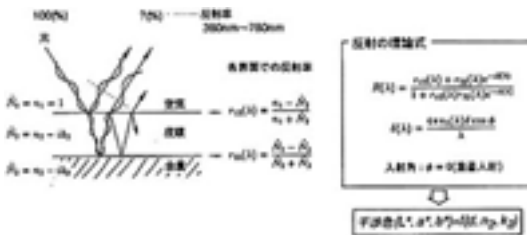


図 5 干渉色の原理

チタンの着色法としては、主に陽極酸化法と大気酸化法が一般的に知られている。表 1 にそれぞれの特徴を示した。どちらも酸化皮膜表面の反射光と内部反射光との干渉作用による発色である<sup>(1)</sup>。図 5 に干渉色の原理を、図 6 に色と酸化皮膜厚さの関係を示した<sup>(2)</sup>。

陽極酸化法は色調が豊富であり、鮮やかな色彩の発色も可能であるため、建築材料や日用品の中で実用化

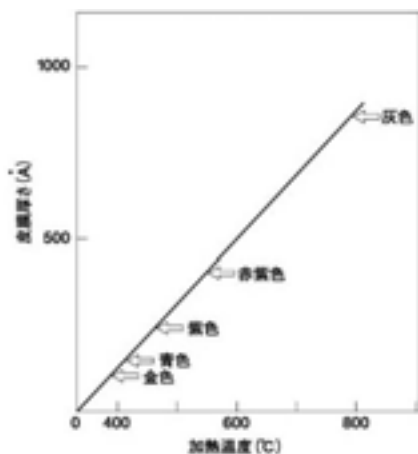
されている。

この方法は湿式法であり、生成したチタンの酸化皮膜の中に処理液が含まれるため、酸化チタン水和物  $TiO_2 \cdot nH_2O$  が生成している。これは加熱されると熱分解を起こすため、酸化皮膜としては不安定である<sup>(1)</sup>。

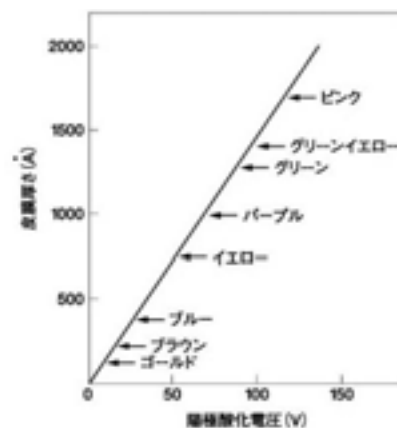
一方、大気酸化法による酸化皮膜は、結晶化していて緻密である。しかし高温加熱下では、酸化皮膜の厚さが加熱温度と時間との関数で変化するため、それに伴い色も変化してしまう。

表 1 チタン着色法の比較

方法	TiO <sub>2</sub>	皮膜密着性	青色発色	着色制御	色むら
陽極酸化	非定型、アナターゼ型	悪い、強膜処理要	40nm 前後	容易	大面積でも均一
大気酸化	結晶化、ルチル型	良い	10 ~ 70nm	難	色むら発生大



(1) 大気酸化法



(2) 陽極酸化法

図 6 酸化皮膜厚さ

どちらの方法においても、サイレンサボディのような大面積を均一に着色するには、チタン素材・処理条件をかなり厳しく制御する必要がある。しかも低コストで、耐久性のある、独特な色調を発色させたり、安定して大量生産するには困難を極めていた。そこで開発に当たっては、皮膜の安定性で優れる大気酸化処理を基本に、工夫と改良を重ねていくこととした。

#### 4 新着色処理工程

チタンの変色は、酸素との結合による酸化皮膜厚さの変化によるものである。そこで酸素を透過しにくい材質、たとえばガラスやセラミックスでチタンの表面を覆うことにより、変色を防止または遅延させられるのではないかと考え、ガラスコーティング技術の研究をまず始めた。

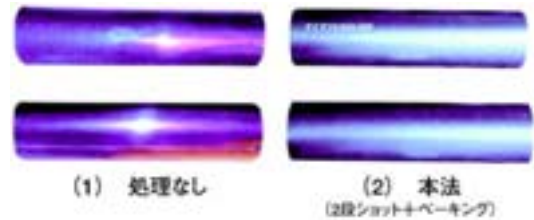


図7 大気酸化法による着色

その後コーティング法を様々に改良し、大気酸化法

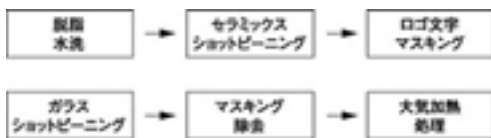


図8 新着色工程

と組み合わせて、「2段ショット+大気酸化法（以下、本法という）」の新着色法を開発した。これには当社独自の色調の発色、大面積の均一な着色、ならびに変色防止のそれぞれの技術を開発する必要があった。たとえば圧延素材のまま大気酸化した場合は、図7の(1)に示すように斑点や縞模様が生じ、色むらも激しいため、

狙った色に管理するのは困難であるが、本法を用いることにより、全面均一の安定した着色が可能となった。

図8にサイレンサボディの着色工程を示す。材質は、強度・コスト・入手性などにより、純チタン2種を採用している。あらかじめブランク材をロール成形し、TIG溶接により円筒形状を製作する。これを脱脂洗浄した後乾燥させ、セラミックスをショットピーニングによりコーティングする。続いてガラスを同様にコーティングし、表面にそれぞれの粒子を付着させる。この工程は、焼き付きやすいチタン材のパフ研磨廃止も狙っており、コスト・物流面、さらに研磨粉塵が生じないという意味で環境面でも有利である。

2段ショットの終了後に大気加熱処理を行い、狙った青色を発色させる。この時のショットで表面に微細な凹凸を付けることにより、光源や見る角度により青色が変化するという、従来にない「Trick-looking Blue」<sup>(3)</sup>の発色効果を生んでいる。

本製品では「TITANIUM」のロゴ文字を表面に入れている。従来はプレスによる浮き出しや刻印の文字が作られていたが、表現力に欠けるため、本法ならではの文字作成法を用いている。これは1段目のショット後に、文字の部分のみマスキングテープを貼り、ガラスショットが当たらないようにしておく。2段ショット終了後にテープを剥がして加熱すると、文字の部分の面粗度や発色が異なるため、文字が目立つようになる、というものである。

#### 5 着色皮膜の特性

サイレンサの表面温度は400℃以上になるため、高温における耐変色特性が要求される。そこで陽極酸化法で着色した2種類の色と、本法で作製した青色との、加熱による変色度



合いを比較した。図 9 に、各方法で着色したチタン板の、400 × 50hr 加熱試験結果を示した。陽極酸化法の色は、加熱初期より色の変化が見られ、50hr 後は色調が大きく変化し、シミや色むらが発生していたが、本法の青色はほとんど変化が見られなかった。

同様に、350、450 の高温加熱試験による、定量的な色の変化 ( $L^*a^*b^*$  表色系による色差<sup>(4)</sup>) を図 10 に示した。陽極酸化法は、350 加熱のみの変化を示したが、1hr 加熱でもすでに色差  $E$  が 18 以上であり、変色として認識される目安の  $E3$  を大幅に越えていて、外観品質としてはとても満足のいくものではない。それに比べて本法の青色は、450 加熱でも  $E$  が 3 以下であり、耐高温変色特性に優れていることがわかる。

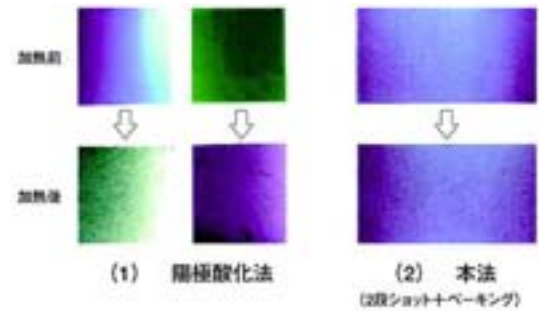


図 9 400 × 50hr 過熱試験後の外観

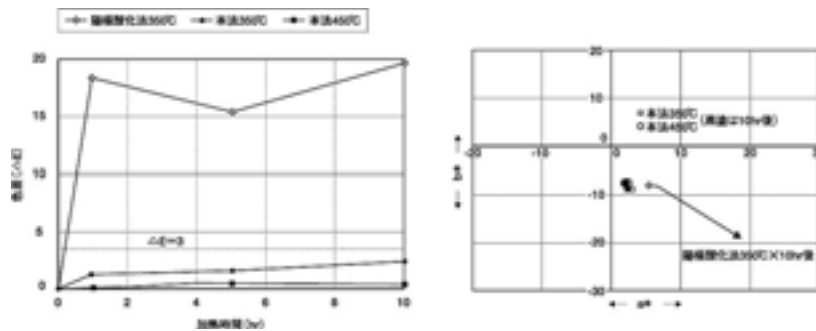


図 10 高温過熱試験による変色 (大気中)

## 6 表面酸化皮膜構造

図 11 に表面からの EPMA 面分析の結果を示した。セラミックス成分の Al やガラス成分の Si が、酸化物としての酸素 O と同じ位置にあり、表面に広く分布していることがわかる。図 12 に酸化皮膜の光干渉機構を模式的に示した。

一般的な干渉色は酸化皮膜構造のみに由来するのに対し、本法の表面層は、約 100 ~ 500nm のルチル型  $TiO_2$  皮膜の中に、20  $\mu m$  以下のセラミックス粉と、5  $\mu m$  以下のガラス粉が存在しており、それぞれの層において反射した光の複合干渉により生じた青色を呈している。

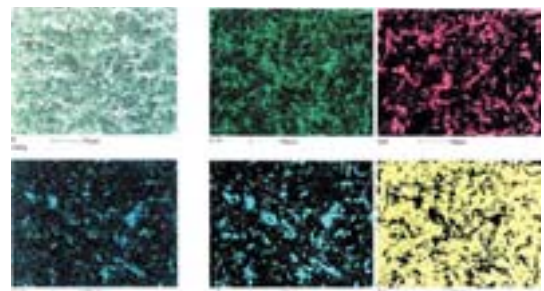


図 11 表面状態の EPMA 面分析

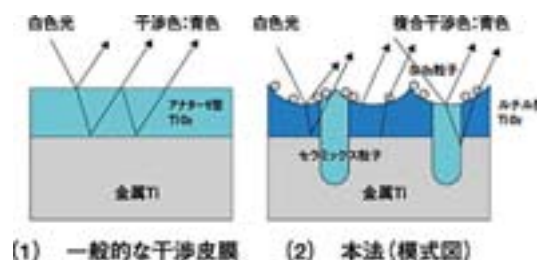


図 12 チタンの発色皮膜構想

## 7 おわりに

耐高温変色性に優れたチタンの新着色法を開発し、その皮膜特性の優れていることを確認した。そしてこの技術は 2000 年モデル YZF-R1 のサイレンサボディに採用され、現在量産されている。青色をつけた排気系部品が、少しでもお客様の心を引きつけ、満足していただけたら幸いである。

最後に、量産技術の開発にあたり、多大なご協力を頂いたサクラ工業(株)の方々に感謝の意を表します。

### 参考文献

- (1) 例えば、山口秀俊：アルトピア、11(1987)p41
- (2) 日本チタン協会編：チタンの加工技術、日刊 工業新聞社
- (3) YZF-R1 欧州カタログ (2000)
- (4) JIS Z 8729 色の表示法