

レーザーによる顔料を使用しない金属製品への着色技術および、 ぎふブランド製品の開発（第4報）

田中 等幸、松原 早苗、西村 太志、堀部 喜学*、大竹 嘉幸**

Development of color marking techniques on the metal surface by laser marking and unique products in Gifu (IV)

Tomoyuki Tanaka, Sanae Matsubara, Futoshi Nishimura, Yoshitaka Horibe* and Yoshiyuki Otake**

レーザーマーキングは、低コスト、溶剤を使用しない等のメリットがある一方で、その用途は単色印字に限られ、主に刻印技術として利用されている。近年、金属に特定の色を付与する加飾技術として、レーザーを使用した発色加工の試みが行われているが、画像を再現性良く発色加工する事例は見当たらない。

我々は、金属製品の高付加価値を図ることを目的として、これまでに発色と酸化膜の物理特性やカラー画像を用いたレーザーによる加飾技術の研究開発を行ってきた。

本研究では、カラー画像を発色加工するマーキングシステムを提案し、その適用例について報告する。

1. はじめに

岐阜県産ブランド「関の刃物」は、世界的な刃物の産地として認知されており、高い品質とデザイン性（色、形）に富んだ商品開発が続けられている。刃物をはじめとする金属製品に様々な着色を再現し、意匠デザイン性を高める技術として、通常、シルク印刷、電解エッチング等の加飾技術が用いられている。しかし、従来の方法では化学物質の使用による環境負荷および、製造コストの課題がある。また、着色数が少なくロゴマーク等の単一色に限定されるため、審美性豊かなデザイン性を追求することは困難である。

一般に、金属に特定の色を付与するためには、所望する色を反射する顔料等の色素を利用するが、近年ではレーザーマーキングによって発色する試みが行われている。金属にレーザーを照射すると、そのエネルギーは熱として周辺に伝搬し、加熱されることによって表面に酸化膜が形成される。この形成された酸化膜による反射光と金属表面との反射光が干渉した結果、肉眼で色として認識することができる。

我々は、この発色機構を金属製品に適用し、レーザーマーキングによる金属への発色技術の研究を行ってきた。これまでに酸化膜の物理特性や、酸化膜厚と発色との関係等を明らかにし、カラー画像を用いて金属表面への描画技術を開発した^{2,3)}。

本稿では、レーザーマーキングによる描画技術をステンレスやチタン材料に再現するためのシステムを提案し、その適用例について報告する。

2. 提案システム

2. 1 構成

提案システムは、まず金属製品に描画するための画像を入力する。次に、入力画像の色調が再現できる加工条件を自動判別し、レーザーによってカラーマーキングを行うものである。システムの構成を図1に示す。システムは、画像処理制御パソコン、カラーパターンデータベース、加工制御コントローラ（OMRON、MX-Z2000G）および、レーザー発振器から構成される。ここで、発振器はファイバーレーザー（1,062nm）を使用し、平均出力20W、繰り返し周波数10-1,000kHz、パルス幅7.5ns - 300ns、走査速度1 - 12,000mm/sの範囲で動作し、加工領域は90×90mmである。

画像処理制御パソコンでは、入力画像を加工サイズに分割し（以下、ワーク領域）、それぞれ階調領域の分割を行った後、カラーパターンデータベースの登録情報から分割した画像に対して適切なレーザー加工条件を決定する。次に、画像処理制御パソコンからシリアル通信（RS232C）を介して加工制御コントローラに通信コマンドを送信し、Ethernetを介して分割画像をコントローラに転送する。通信コマンドと画像を受信した加工制御コントローラは、加工条件に従ってレーザーマーキングを行う。

2. 2 加工データの作成

加工データの作成法は、図2に示すようにワーク領域の分割および、階調領域の分割の2ステップからなる。

2. 2. 1 ワーク領域の分割

発振器から照射できるレーザー照射範囲には限界があるため、加工サイズを超える加工を行う場合には、入力画像を適切な大きさに分割する必要がある。本システムでは、加工サイズに制限しないように入力画像の長手方

* 有限会社志津刃物製作所

** 株式会社シズテック

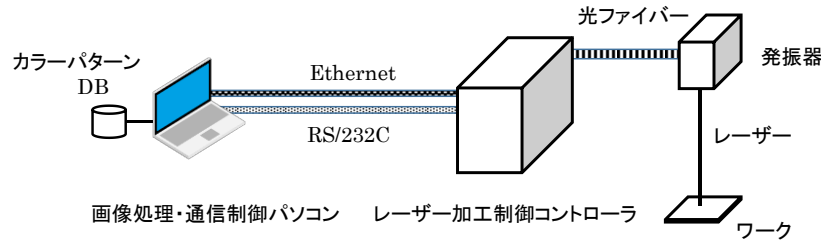


図1 システム構成図

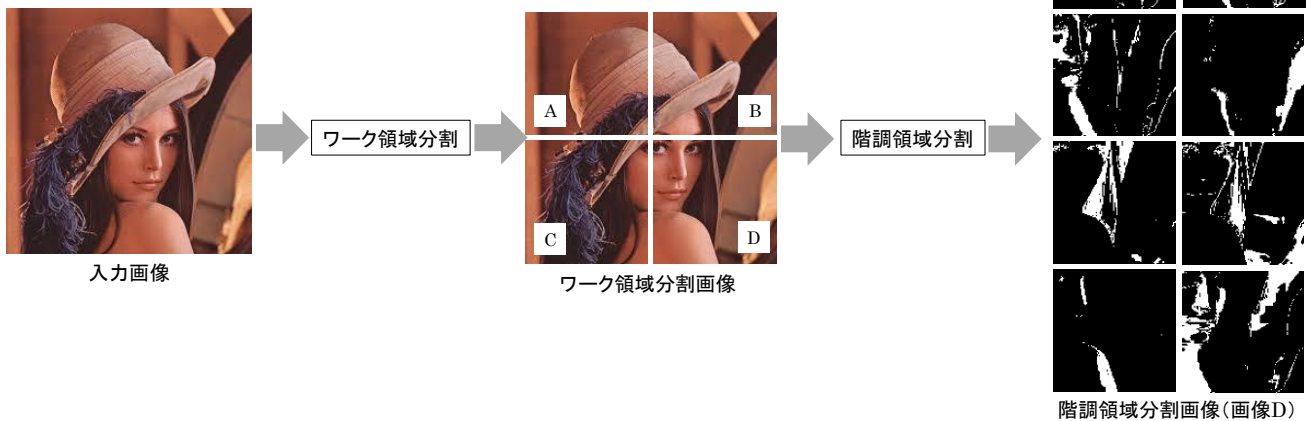


図2 加工データの作成法

向を基準として、加工サイズに収まる矩形に分割する。図2は入力画像を4つの正方形に分割した例を示す。

2. 2. 2 階調領域の分割

あらかじめ、画素値とレーザー加工条件が関係付けられた材料ごとのカラーパターンデータベースをシステムに登録しておく。ワーク領域分割画像の画素値とカラーパターンデータベースに登録されたカラー値 (r,g,b) との距離を比較し、最も距離の小さいカラーパターンを選択する。ここで、階調の類似度を示す指標としてユークリッド距離 d を用いる。入力画像のある画素の画素値を $V(r, g, b)$ とし、カラーパターンのカラー値 $P(r, g, b)$ としたときのユークリッド距離は式(1)のように定義する。

$$d = \sqrt{(V_r - P_r)^2 + (V_g - P_g)^2 + (V_b - P_b)^2} \quad (1)$$

次に、選択されたカラーパターンをワーク領域画像に対応付け、階調別の画像を作成する。図2はワーク領域分割画像Dを8階調の領域に分割した例を示す。

2. 3 マーキング加工の発色性能

2. 3. 1 発色の色域

レーザーマーキングによる発色品質は、光学素子、ビーム特性、加工材料および加工条件等、様々な要因が影響することが知られている。本システムが発色品質に及ぼす特性要因を図3に示す。これまで得られた知見

から、発色性に影響を及ぼす主要因は、出力、パルス周波数、パルス幅、走査速度のレーザー照射パラメータである。そこで、ステンレス材料を対象にレーザーマーキングによる発色の範囲について、分光測色計を使用し xy 色度図によって定量化する⁵⁾。式(2)は、物体色が肉眼で認識される (380-780nm) 三刺激値である。ここで、 $P(\lambda)$ は光の分光分布、 $\rho(\lambda)$ は物体の分光反射率、 $x(\lambda)$ は可視域長波長帯に主たる感度特性、 $y(\lambda)$ は可視域中波長帯に主たる感度特性、 $z(\lambda)$ は可視域短波長帯に主たる感度特性および、 K は最大視感度である。これらの刺激値の比を色度値 (x, y) として式(3)に示す。

$$\left. \begin{aligned} X &= K \int_{380}^{780} S(\lambda)\rho(\lambda)x(\lambda)\Delta\lambda \\ Y &= K \int_{380}^{780} S(\lambda)\rho(\lambda)y(\lambda)\Delta\lambda \\ Z &= K \int_{380}^{780} S(\lambda)\rho(\lambda)z(\lambda)\Delta\lambda \end{aligned} \right\} (2)$$

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{X}{(X + Y + Z)} \\ y &= \frac{Y}{(X + Y + Z)} \end{aligned} \right\} (3)$$

2.3.2 発色の再現性

これまでの知見から、発色の再現性に影響を及ぼす主要な要因は、焦点距離である。レーザーの光学的特性から、品質よく加工性能を維持するためには、焦点は必ず材料表面に合わせる必要がある。しかしながら、本システムの加工領域は、レーザー照射域としては比較的広範囲であるため、焦点距離には光学的なズレが避けられない。そのため、焦点距離から決まる照射平面と発色の再現性を確認する。

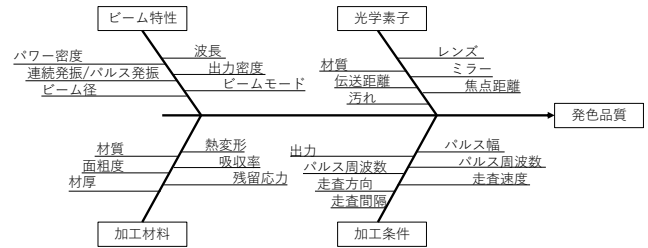


図3 発色品質におよぼす特性要因図

3. 実験

3.1 発色範囲の評価

発色範囲の評価は、ステンレス材料 SUS304 (100×100mm t=1、Ra=0.012μm) を用いて、6×6mm の範囲に表1に示す加工条件でレーザーマーキングを行った。加工条件の組み合わせ数は630条件である。なお、安定した酸化膜の成長に必要と考えられている熱緩和時間を考慮し、走査方向は左から右への一方向走査とした。

分光測色計 (コニカミノルタ株式会社、CM-2600d) を使用し拡散方式の条件の下、マーキング領域の分光スペクトルを測定した。なお、リファレンスとして硫酸バリウム BaSO₄ 試料を用いた。標準イルミナント D65 光源を用いて式(2)、式(3)から色度座標を求めた。図4にxy色度図および、明度Yを示す。

色度プロットは、無彩色 (0.333, 0.333) を中心に楕円上に分布した。また、明度は、0 から 60%を推移した。明るさは広範囲である一方で色度分布は狭域であった。本実験では、材料の表面性状による影響を受けないように表面が鏡面状態の材料を使用した。このため、材料の鏡面反射が彩度に影響したと考えられる。また、色度分布は赤系色、青系色に偏りがあった。これは、レーザー発振器の加工条件のみの調整では、色相を決定する数百ナノメートルの膜厚を均一に制御するには限界があると考えられ、金属光沢を失うことなく広範な色域を再現することは困難であることが示唆された。

今後、加工条件による色差の変化を解明し、色分解能を上げるための工夫が課題である。

3.2 発色の位置依存性の評価

レーザーの焦点距離は、レーザー照射口から鉛直下向きのポイントで加工平面を決定している。そのため、焦点測定ポイントからの距離が大きくなるにつれ光学的なひずみが生じ、色度に影響を及ぼすことが考えられる。そこで、加工条件を一定とし照射座標平面における発色の再現性を検討した。

レーザーの照射位置座標を原点として、x、y 方向にいずれも-35 - 35mm の範囲で7ミリ間隔に正方形6×6mm の領域をレーザーマーキングした。加工条件は、出力6W、繰り返し周波数200kHz、パルス幅15ns、走査速度100mm/s、走査間隔5μm とした。なお、矩形間の

表1 加工条件

出力 [W]	5 - 10、1 刻み
繰り返し周波数 [kHz]	200 - 800、100 刻み
パルス幅 [ns]	15 - 300、15 刻み
走査速度 [mm/s]	100
走査間隔 [μm]	5

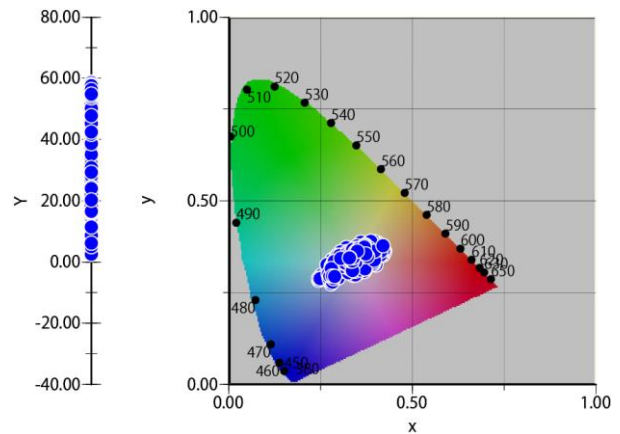
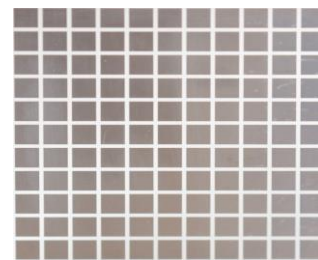
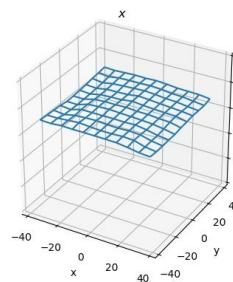


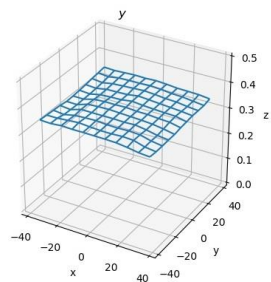
図4 色度分布



(a)



(b)



(c)

図5 発色の位置依存性の評価

熱影響を回避するため、マーキングの順序はランダムとした。

図5に加工結果と加工平面の色度分布を示す。図5(a)から、どの位置も褐色に発色している様子が確認できる。図5(b)(c)は色度 x、図5(c)は色度 y のそれぞれの色度分布をワイヤフレームによって表示した。色度 x、y いずれも焦点ポイントから遠い周辺部になるにつれ、色度が小さくひずむ傾向にあるが、この色差は肉眼では同一色と認識される誤差範囲と考えられる。したがって、本システムにおいては、材料表面に焦点距離を精度よく合わせることができれば、加工領域の位置に依存せず、発色が再現できることを確認した。

3.3 濃淡画像への適用

3.3.1 入力画像

濃淡画像の評価は、伊藤若冲の代表作品「群鶏図障壁画」の画像を用いて行った。原画像のサイズは 1086×2048 画素、解像度は1画素あたり 114μm である。原画像の濃度分解能は 8bit であるが、これを 4bit にスケールングした。

3.3.2 カラーパターンデータベース

実験に使用したカラーパターンは、出力 4 -7.6、0.4W 刻み、繰り返し周波数 100 - 1000、100kHz 刻みおよび、パルス幅 15 ns、30 ns、45 ns、105 ns、300ns の組み合わせから構成され、データ登録数は 500 条件とした。入力画像の濃淡値(RGB)から式(1)によって選択されたカラーパターンの結果を表2に示す。なお、走査速度は 100mm/s、走査間隔は 5μm とした。

3.3.3 濃淡画像の加工評価

提案システムによる適用例を図6に示す。図6(a)は入力画像、図6(b)は加工結果である。材料は純チタン (50×50mm、t=1.0) を使用した。表面の金属光沢が強い影響によって発色は淡い印象となった。構造色の特徴である角度依存性により、見る角度によって色調が変わり、顔料等を利用した着色による表現とは異なる質感となることを確認した。なお、どのワークサンプルも安定した濃淡の表現を実現した。一方、入力画像の画素値とカラーパターンの画素値が完全に一致していないため、カラーパターンデータベースの充実が必要である。また、鮮やかな発色を再現するためには、熱緩和時間の確保、走査間隔を細かくする等加工時間を必要とする。したがって、加工品質と加工時間はトレードオフの関係があるため、今後、画像の階調数の決定方法や、レーザーを用いた発色加工技術が生かせる用途開発が課題である。

4. まとめ

本研究では、カラー画像をレーザーによって発色加工を行うシステムを提案した。画像をワークサイズに分割し、階調に応じた加工条件を対応付ける手法を示した。画像サイズや階調に制限されることなく、ステンレスや



(a)入力画像 (b)加工結果

図6 適用例

表2 濃淡値と加工条件の割り当て結果

入力画像の濃淡値	出力 [W]	周波数 [kHz]	パルス幅 [ns]
000000	4.8	100	45
000055	4.0	200	15
550055	4.0	600	30
55AA55	7.0	300	15
55AAAA	4.4	200	15
AA5555	4.0	200	300
AAAAA0	4.0	300	30
AAAAAA	7.6	1000	45
AAAAFF	4.8	300	105
AAFFAA	4.4	400	15
FF5500	5.2	100	300
FFAA00	5.6	100	300
FFAAAA	4.4	100	45
FFFF55	4.0	100	15
FFFFAA	4.0	100	105
FFFFFF	4.8	100	45

チタンに発色加工できるシステムを実現した。

今後、色分解能の向上や用途開発について検討し、付加価値ある意匠デザイン加飾技術として利用できるような残された課題解決に取り組む予定である。

【参考文献】

- 品田ら,日本機械学会論文集 C 編 Vol.72 No.722, pp3406-3411,2006
- 西村ら,岐阜県工業技術研究所報告 No.4 pp1-2,2016
- 西村ら,岐阜県工業技術研究所報告 No.5 pp1-4,2017
- 西村ら,岐阜県工業技術研究所報告 No.6 pp1-4,2018
- JIS 8781-3(2016)