

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2報）

西村 太志、丹羽 孝晴、小河 廣茂、堀部 嘉学*、大竹 喜幸*

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

Futoshi Nishimura, Takaharu Niwa, Hiroshige Ogawa, Yoshitaka Horibe* and Yoshiyuki Otake*

ステンレスやチタンの表面に酸化膜を形成し、光の干渉で発色する技術はこれまでも発表されているが、あまり普及していない。酸化膜の厚さはとても薄く、ロットごとの材料成分のわずかな違いや加工物形状による発熱特性の違いにより形成される膜厚が変わり、発色の様子が大きく変わるためと思われる。本研究では、これまで以上に鮮やかな発色を目標に、発色と酸化膜厚、表面粗さと発色の関係を明らかにする。また市販のステンレス製品へのカラーマーキングに本開発手法を応用する。

1. はじめに

レーザーによる刻印は金属表面をごく薄く削り取るため、印刷に比べて摩耗等に対する耐久性に優れる。このため工具等の型番表示によく使用されている。最近ではレーザーパワー等を適切に調整することで、ステンレスやチタンに色鮮やかに印字している¹⁾。この原理について阪部²⁾は次のことを示している。ナノ秒レーザーでは金属表面に形成された酸化膜と金属表面での光が干渉して発色することを示した。また、フェムト秒レーザーでは、金属表面にナノメートルオーダーの微粒子や微細構造が形成され、発色することを示した。また、カラーマーキングを高品質化する研究として、品田は YVO₄ レーザー（ナノ秒レーザー）を用い、複数回重ね描き³⁾、パスのピッチを狭く⁴⁾して酸化膜の厚さを制御し、鮮やかな多色印字を行った。また、筆者の第1報⁵⁾では広い面積への均一なカラーマーキング方法を報告した。

本研究ではファイバーレーザー（ナノ秒レーザー）により多色印字を行う。レーザーの発振条件と発色の関係を明らかにする。また、ステンレス製品表面へは、ヘアライン加工されることが多いが、カラーマーキングにおよぼす表面状態の影響を調べる。カラーマーキングは単色加工に比べて加工時間が長くなるため、加工時間の短縮を検討する。

2. 実験装置

図1に実験装置を示す。レーザーマーカはオムロン製 MX-Z2000G であり、加工部は安全ボックスで覆われている。安全ボックス内にはラボジャッキが置かれ、レ



図1 レーザーマーカ本体

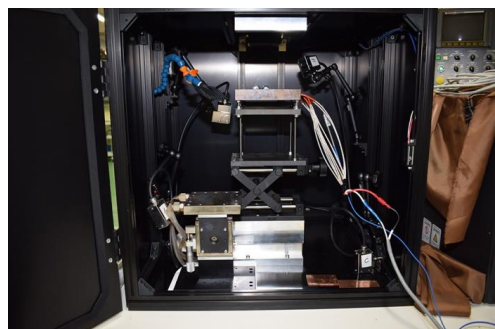


図2 安全ボックス内部

ズと加工物の距離を微調整できる。図2のようにジャッキ上にはチラーに接続された熱交換器またはヒータを設置し、加工物を任意温度に保つことができる。また、図3に示すようにアシストガスを噴射できるようにノズルも備えている。噴射するガス量は流量計にて任意に調整できる。さらに、卓上酸素モニター（ジコー製 OXY-1-M）で加工物周囲の酸素濃度を測定できる。

本レーザーマーカの発振器の特徴を図4に示す。図4のように本発振器はパルス発振をしている。一つのパ

* 株式会社 シズテック

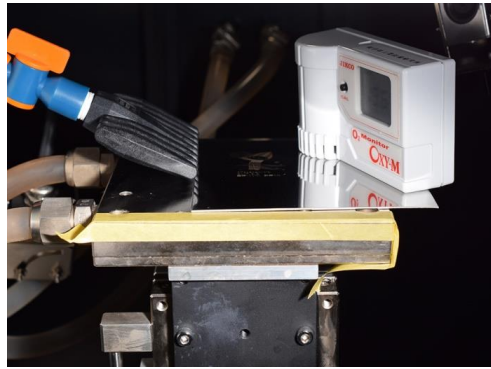


図3 ノズル部

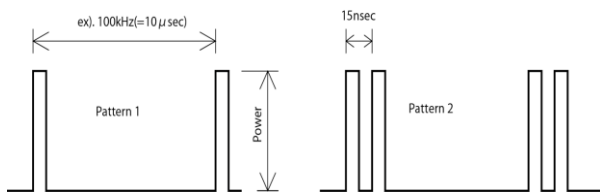


図4 レーザー発振の模式図

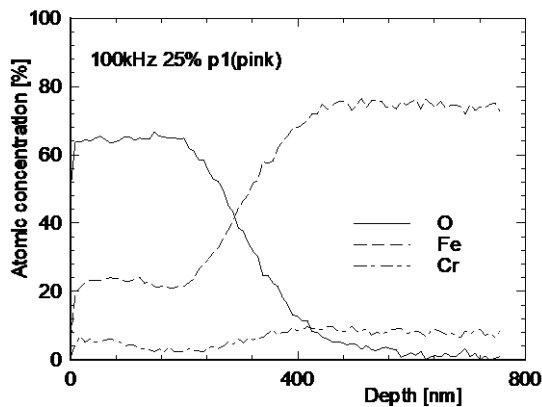


図5 オージェ分光分析結果

ルスの発振時間は7.5nsecであり、パルスの大きさ (Power) と次のパルスまでの時間 (周期) を制御できる。一つのパルスの発振時間は固定であるが、7.5nsec 後にもう一つパルスを発振することができ、擬似的にパルス幅を変えることができる⁹⁾。20個までのパルスを連続発振でき、この個数をパターンと呼ぶ。

3. 結果および考察

3.1 酸化膜の厚さ

図5にパワー25%、周期100kHz、パターン1で発振させ、ピンク色に印字した酸化膜をオージェ電子分光分析機で測定した結果を示す。横軸は表面からの深さ、縦軸は元素分布を表す。ここでは、酸素、鉄、クロムの割合を示している。酸素は表面から200nmまで約65%存在し、400nmではほぼゼロとなる。鉄は表面から200nm

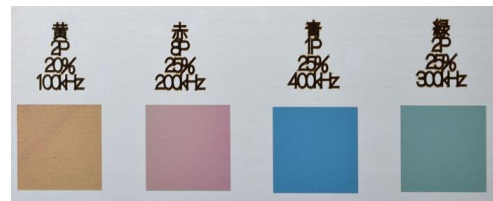


図6 酸化膜の例

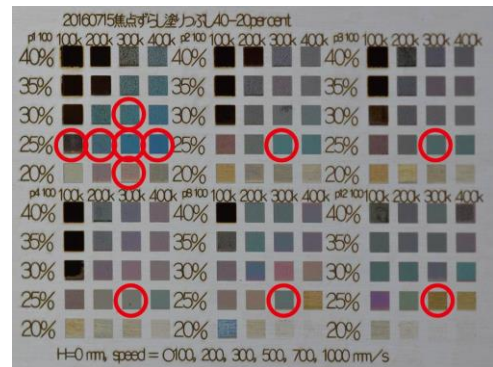


図7 カラーサンプル



図8 レーザー照射による線

まで約20%存在し、400nmで約80%となる。本研究では簡単にするため、酸素と鉄の分布曲線が交わる点を酸化膜の厚さと定義する。この図での膜厚は286nmである。

図6に黄色、青色、緑色、赤色の酸化膜を示す。オージェ電子分光分析から得られた酸化膜厚さを表1に示す。黄く青く赤く緑の順に膜が厚くなっている。長野ら⁹⁾の報告では黄く赤く青く緑の順であり、当報告とは異なっている。発色原理について長野らは補色により発色すると述べているが、色によっては異なる原理で発色している可能性がある。

図7にパルスの高さ、連続発振するパルスの個数 (パターン)、周期を変えて出力したカラーサンプルを示す。図中の赤丸で囲った酸化膜の厚さをオージェ電子分光分析装置で測定する。また、図8のように同じ条件でレーザー光を一直線に照射したときにできる酸化膜の線幅を測定する。図9にパワーを25%に、パターンを1に固定し、周波数を変えた酸化膜厚さと線幅を示す。周波数

表1 色ごと(図6)の膜厚測定結果

	幅 [μm]	深さ [nm]
黄	15.71	173.6
赤	17.41	364.5
青	29.71	234.3
緑	13.62	286.4

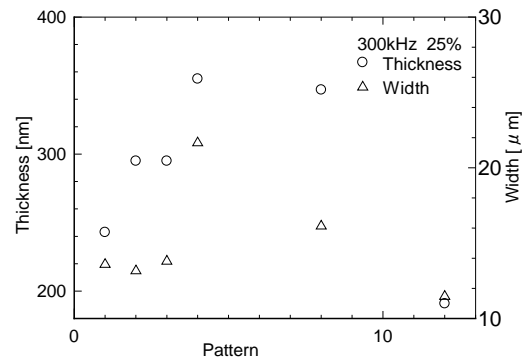


図11 膜厚と振幅(パワーと周波数固定)

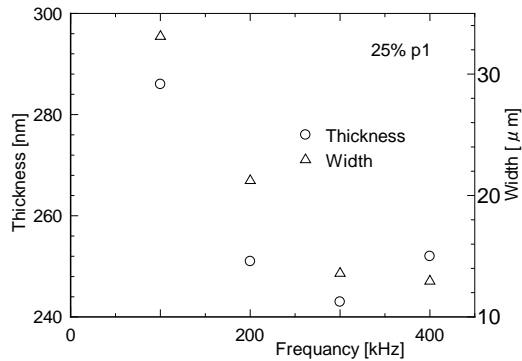


図9 膜厚と線幅(パワー固定)

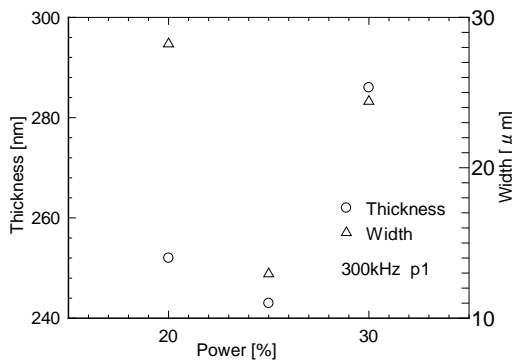


図10 膜厚と線幅(周波数固定)



図12 ヘアライン仕上げへのカラーマーキング



図13 予熱後のマーキング

が低い100kHzで酸化膜が厚く、300kHzとなると薄くなる。線幅も同様に狭くなる。図10に周波数を300kHzに固定し、パワーを変えたときの酸化膜厚さと線幅を示す。パワーが大きいくほど酸化膜は厚くなり、線幅は太くなる。図11に周波数を300kHz、パワーを25%に固定し、パルス幅(パターン)を変えたときの酸化膜厚さと線幅を示す。パターン1よりも4(疑似的なパルス幅が広がる)のときに膜厚が厚くなり、線幅も太くなる。パターンが8, 12になると膜厚は薄くなり、線幅も狭くなる。これはレーザー媒質のポンピングが不足し、理想状態よりも出力が小さくなるためと思われる。

3.2 カラー印字に及ぼす表面粗さの影響

これまで表面を磨いた金属板にカラーマーキングを行ってきた。実際の製品ではヘアライン仕上げされている

ことが多い。このような表面では酸化膜が形成されてもヘアラインの溝で光が乱反射し、磨いた表面での発色と異なる可能性がある。そこでステンレス板にベルトサンダーでヘアライン仕上げを施し、その影響を調べる。図12に鏡面へのマーキングと表面粗さの異なるヘアライン仕上げの面へのマーキングを示す。80番で仕上げた表面はベルトサンダーによる傷の影響がみられ、色むらも発生している。240番以上で仕上げたものには色むらは発生していない。粗さパラメータRaが0.3 μm より小さければカラーマーキングに影響はないと考えられる。

3.3 加工時間の短縮について

図12のような大きさ20mm \times 30mm程度の図案のマーキングにおよそ11分要する。工場内のラインでは一工程あたり1~2分程度であり、11分要する工程はラインバランスを崩すという指摘がある。このため、量産ライ

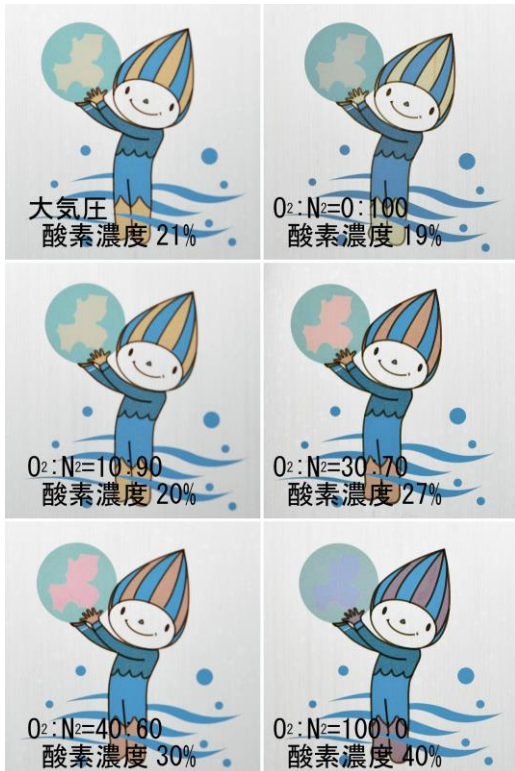


図14 アシストガスを付与したマーキング



図15 ステンレス製品へのマーキング

ンへ本工程が採用されるにはレーザーマーカの台数を増やすか、加工時間を短縮する必要がある。色の発色は酸化膜の厚さに依存するので、加工時間短縮には酸化膜をこれまでより促進する必要がある。以下に述べる二つの方法を実施し、加工時間短縮に応用できるかを検討する。第一に加工物を予熱し、酸化を促進させる。ヒータ

(図2)を50°Cおよび200°Cに加熱し、カラーサンプルを印字した結果を図13に示す。高温に加熱しても、発色に大きな違いは見られず、この方法は加工時間短縮には応用できないと思われる。第二に、レーザー照射面近傍の酸素濃度を高める。酸素と窒素を任意の割合で混合した後、ノズルから加工物に噴射する。混合ガスは1L/minから1.5L/minとしている。図中には酸素と窒素の混合割合を示している。ただし、安全ボックス内は気密ではないので、ノズルから噴射後、アシストガスに大気が混ざる。そこで酸素モニターによる実測値も示している。酸素濃度を変えてカラーマーキングを行った結果を図14に示す。ただし、左上はアシストガスなしでの加工である。酸素濃度が標準(21%)より低いと、青みがかっている。標準以上では赤みがかっていることがわかる。酸素濃度は発色に影響があるので、加工時間短縮に応用できると思われる。

3.4 製品へのカラーマーキング

ステンレス製品へのカラーマーキングを図15に示す。それぞれの表面粗さは図中に示すとおりである。Ra=1.67μm(左上:ソムリエナイフ)であってもカラーマーキングできている。

4. まとめ

- 1) 酸化膜の厚さは黄<青<赤<緑の順に膜が厚くなる。また、厚さはレーザーのパワー、周波数、幅に相関がある。
- 2) 酸化膜の厚さと線幅には相関がある。
- 3) ヘアライン仕上げの表面にもカラー印字できる。
- 4) 加工物の温度を50°Cから200°Cに上げてても発色は変わらない。
- 5) 酸素を加工面に吹き付けると発色が変化する。

【参考文献】

- 1) 田中ら,岐阜県工業技術研究所研究報告 No.3, pp12-15,2014
- 2) 阪部, 天田財団助成研究成果報告書 No.27, pp172-214,2014
- 3) 品田ら,日本機械学会論文集 C 編 Vol.72 No.713, pp235-240,2006
- 4) 品田ら,日本機械学会論文集 C 編 Vol.72 No.722, pp3406-3411,2006
- 5) 西村ら,岐阜県工業技術研究所報告 No.4 pp1-2,2016
- 6) 長野ら,レーザ加工学会誌 Vol.23 No.1, pp76-79,2016