

レーザー加工機を活用した新しいデザイン表現の研究

デザインチーム 木戸 雅史
窯業系チーム 鈴木 芳直

要 旨

本研究では、陶磁器分野でのレーザー加工機による新デザイン表現の創出に向けた取り組みを重ねた結果、レーザー照射による素地や釉薬の化学変化を利用した新たな加飾表現を創出した。産業用機械としてのレーザー加工機をデザイン視点から用いることで、陶磁器分野に対する新たな表現が可能であることが示された。

1. はじめに

デザインを革新させる取り組みの一つとして、近年の3Dプリンターの活用事例のようにこれまで産業用機器として使われてきた機械を、デザインの視点から活用することで新しい表現、手法、機能を創出する取り組みがある。本研究では、主に材料の切断用加工機として使用されているレーザー加工機をこうした取り組みの対象とし、伝統工芸である陶磁器分野において、より高度なデザイン表現、手法の創出を図るための活用方法を検討した。

レーザー加工機は、直径0.1mm以下のレーザー光線を用い、コンピューター制御によって非常に精緻な彫刻・切断加工が可能である。このレーザー加工機の「精緻さ」、「早さ」、そして「簡単な操作」を、まず伝統工芸分野のデザインに適用し、手仕事との融合を図ることで、これまでにない表現と機能が生まれると考えた。

本研究では、レーザー加工機としてトロテック・レーザー・ジャパン(株)のSPEEDY300(CO₂レーザー/60W)を用い、事前の検討項目として工芸分野での主な素材である木材や革、紙、陶磁器、蝋燭など様々な素材に対する加飾検討と、各分野の製作プロセスに対するレーザー加工機による工程の改善を検討した。その中で、陶磁器

への加飾検討を行っていた際に、素焼きの段階でレーザー照射を行ったテストピースに対し、食塩水を塗布し本焼きを行ったところ、緋色¹⁾と呼ばれる土と食塩水の化学変化による発色がレーザー照射部にのみ見られず、その効果によって柄の色分けが可能であることを発見した。別ページ図1にテストピースの写真を示す。緋色の色分けは、CO₂レーザーの照射に伴って発生する熱的なエネルギーにより、素地に化学的な変化が起きた結果であると考えられる。そのため、レーザー照射による素地及び釉薬の化学的な変化について考察することで、これまでにない陶磁器の色分け表現が可能ではないかと考えた。

そこで本研究では、レーザー照射による素焼き素地の変化を観察し、新規の色分け表現への応用を行った。さらに、釉薬中での熱的な酸化還元反応を期待し、色材を添加した釉薬へのレーザー照射による、釉薬の色や結晶性の変化を観察した。

また、得られた結果を基にデザイン試作を行った。

2. 実験

2.1 試料の作製及び観察

日本陶料(株)製の上石の乾粉に対してプレス成型を

表1 釉薬の名称と調合方法

名称	調合方法
酸化銅釉	三号釉に酸化銅を3%外割りで添加
トルコ青釉	ゼーゲル式 $\left. \begin{array}{l} 0.20 \text{ KNaO} \\ 0.50 \text{ CaO} \\ 0.30 \text{ SrO} \end{array} \right\} \begin{array}{l} 0.35 \text{ SiO}_2 \\ 3.15 \text{ Al}_2\text{O}_3 \end{array}$ の釉薬に酸化銅を3%外割りで添加
酸化銀釉	三号釉に酸化銀を3%外割りで添加

※日本陶料(株)製

行い、直径約 35mm、高さ約 1.3mm の円盤状試料を作製した。

得られた試料を 800℃ で素焼きした後、一部の試料に対し、5mm 角の正方形もしくは全面にレーザー照射を行い、1230℃ で酸化焼成を施した。レーザー照射を行わなかった試料に対しては、表 1 に示す組成の釉薬をディップ法にて塗布し、1230℃ で酸化焼成を施した後、レーザー照射を行った。

レーザー照射による素地や釉薬の変化を観察するため、作製した試料に対して、X 線回折 ((株) リガク SmartLab, 以下 XRD) 及び SEM-EDS ((株) 日立ハイテクノロジーズ Miniscope TM3030Plus) 装置による分析を行った。

2.2 デザイン試作用素地の作製及び観察

得られた結果を基に、柄の細かさ、発色、強度 (剝離) といった点において加飾と成り得るかを判断するため、図 2、図 3 のような柄のデザイン試作品を作製し、目視などにより観察した。

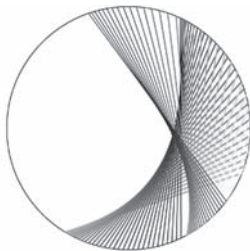


図 2 デザイン試作に施した柄 A

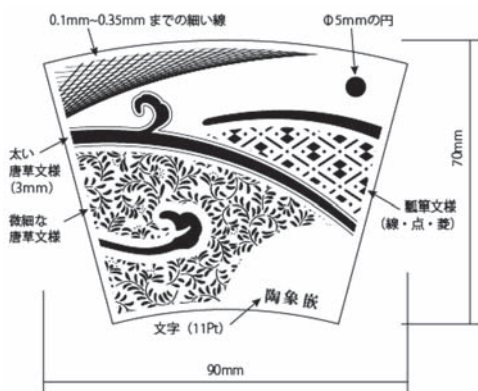


図 3 デザイン試作に施した柄 B

3. 結果及び考察

3.1 素焼き素地にレーザー照射した試料

3.1.1 レーザー照射前後での結晶性の変化

緋色は、食塩水や薬に含まれる Na^+ イオンや K^+ イオンの媒溶力によってムライト結晶の一部が $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ となり、素地中に $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3/\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ のサンドイッチ構造結晶が析出することにより、赤色に見える現象である²⁾。そのため、図 1 の事例で緋色が色分けられたのは、レーザー照射により、通常の熱処理とは異なる結晶が析出したために、サンドイッチ結晶が析出しなかったのではないかと考えた。

そこで、レーザー照射前後の素焼き素地に対して XRD の薄膜法による測定を行い、結晶性の変化を観察した。入射角はいずれも $\omega = 0.5^\circ$ である。その結果を図 4 に示す。

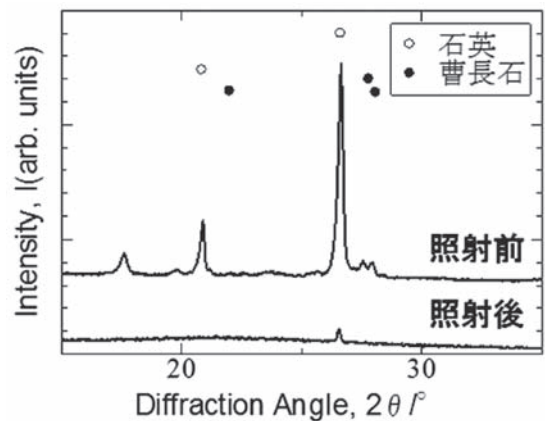


図 4 XRD 測定結果及びレーザー照射後の測定試料

焼成前の試料には石英や曹長石のピークが観察されたが、焼成後の試料には、曹長石のピークが見られず、石英のピーク強度も弱くなった。CO₂ レーザーによる加工は本質的には熱加工である³⁾ ため、レーザー照射に伴う熱エネルギーによって、素地表面の結晶が熔解・ガラス化したのではないかと考えられる。

また、それぞれの SEM 観察結果を図 5 に示す。

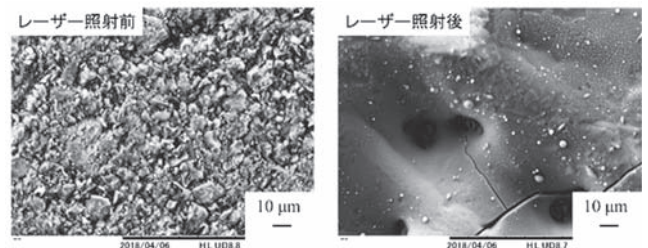


図 5 レーザー照射前後の試料表面の SEM 画像

レーザー照射による表面の平滑化が見られたが、これは熔解・ガラス化によるものだと考えられる。

3.1.2 緋色色分け原因の考察とその応用

3.1.1の結果から、レーザー照射により、素地表面の熔解・ガラス化が示唆された。また、SEMでは観察できない微細な細孔についても、細孔サイズは小さくなったと考えられる。

このことから、素焼き素地上のレーザーを照射した領域は、未照射部と比べて、素地表面からの食塩水の吸水量が低下し、緋色が見られなかったものと考えられる。

素地表面からの吸水が素地の外見に大きく影響する色材として、水溶性色材がある。レーザー照射の有無により緋色の発現の変わる原因が、表面からの吸水量の違いであるならば、液体顔料も緋色と同様の傾向を示すと考えられる。

そこで、素焼きのテストピース上に、絵付け用筆を用いて、0.2g/mL塩化コバルトを塗布し、焼成を行うことで、レーザー照射の有無による色の変化を観察した。その結果を図6に示す。

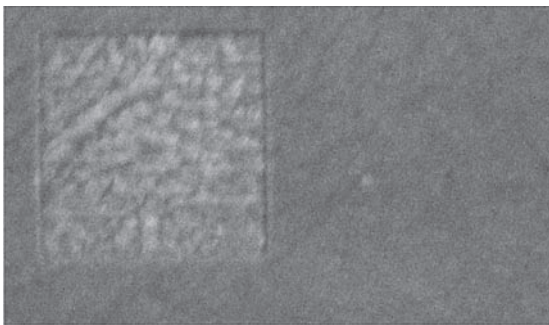


図6 レーザー照射有無による塩化コバルトの色の違い (左) レーザー照射 (右) 未照射

レーザーを照射した部分は未照射部と比較して色が薄くなったが、緋色ほどの色の差は見られなかった。これは、レーザーによる熱の影響は表面のみであるため、非照射部から素地に浸透した塩化コバルトが、熱影響の及んでいない素地の深い領域へ回り込んだためではないかと考えられる。

3.1.3 塩化コバルトによるデザイン試作

3.1.2の塩化コバルト塗布での結果を基に、2.2の図2のデザインデータを用いてレーザー照射を行い、デザイン試作を行った。その結果を別ページで図7に示す。レーザー照射部分はガラス化が示唆されているが、照射部分

が剥離することはなかった。繊細な線の集合により地模様のような上品な表情となることを期待したが、結果は素地への塩化コバルトの回りこみによって地と模様のコントラストが低く、ぼやけた表情となってしまった。以上のように、塩化コバルトでは緋色ほどの明確な色の差は見られなかったが、塗布方法などの検討を行うことで、色分けできる可能性がある。また、塩化コバルト以外の水溶性色材についても同様の結果となることが予想されることから、新たな表現への幅広い応用が可能であると考えられる。

3.2 釉薬焼成後にレーザー照射した試料

3.2.1 釉薬中の色材の変化とその原因の考察

酸化銅を色材として用いた釉薬は、酸化焼成時には緑色に、還元焼成を行った場合には赤色になる釉薬である。CO₂レーザーにより瞬間的に大きな熱エネルギーが与えられることにより、銅の酸化還元状態が変化し、色の変化が起きるのではないかと考え、実験を行った。

その結果、別ページで示す図8のように、レーザーを照射した部分が赤色に変化した。

酸化銅を使った釉薬を還元焼成した際の赤色原因は、釉中に存在する酸化第一銅(Cu₂O)、あるいは、金属銅のコロイドであると言われている^{4,5)}。そこで、レーザー照射時にも同様に、銅の還元反応が起きているのではないかと考え、XRDによる測定を行った。分析結果を図9に示す。

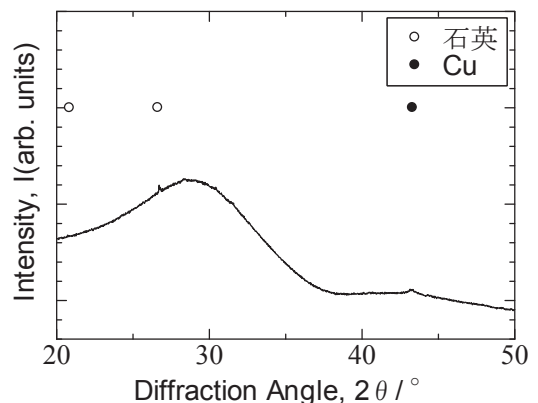


図9 レーザー照射後の酸化銅釉及びXRD測定結果

図9より、レーザー照射により、金属銅が生成されていることが分かった。CO₂レーザーによる加工は熱加工であるため、銅の還元のためには熱的還元剤が必要となるが、三号釉中に酸化銅を用いた釉薬で使用される代表的な熱的還元剤であるSnO₂などは含まれていない。し

かし、ガラス中での金属コロイド作製において、鉄の化合物が熱的還元剤として有効であるとされている⁶⁾ことから、素地や釉薬原料中に含まれる微量な鉄分が熱的還元剤として働いている可能性が考えられる。

これらの結果から、レーザー照射により還元反応が起きたと考えられる。そのため、酸化銅を添加する基礎釉や、色材となる金属酸化物を変えることにより、新たな表現へとつながる可能性がある。そこで、トルコ青釉、及び、酸化銀釉について、レーザー照射を行ったところ、別ページで示す図10のように、照射部の色が変化した。

3.2.2 還元の利用によるデザイン試作

3.2.1での結果を基に、表1の釉薬と図3のデザインデータを用いてレーザー照射を行い、デザイン試作を行った。その結果を以下に示す。

①酸化銅釉

酸化銅釉に対する加工結果を別ページで図11に示す。酸化焼成の深い緑色に対し、レーザー照射により赤紫が発色した。5mm大程度の面で剥がれが生じているが、この場合もレーザー照射の出力を上げると定着する。細い線や微細な柄、文字などには剥がれは見られない。

②トルコ青釉

トルコ青釉に対する加工結果を別ページで図12に示す。酸化焼成の淡い緑色に対し、レーザー照射により淡いピンク色を発色した。線や微細な唐草、文字などは定着しているが、太い線になるとレーザー照射の出力を上げても剥がれてしまう。また時間経過により釉薬面に多数のクラックが入る。

③酸化銀釉

酸化銀釉に対する加工結果を別ページで図13に示す。酸化焼成では透明だが、レーザー照射により銀コロイドと思われる黄色が発色した。細い線も太い線も、①の酸化銅釉薬より定着は良好である。通常のレーザー出力では淡い黄色だが、出力を上げると、焦げたような茶色になってしまう。

従来の陶磁器の表現において、酸化と還元の色が同時に出ることはある。しかし、今回の手法の様に、ある一部分にレーザー照射を行うことで、意図的な図柄として還元をコントロールする手法はこれまでにない。

柄の定着や発色の強さに課題はあるが、レーザーを用いた陶磁器の新しい表現として、可能性が示唆された。

4. まとめ

レーザー加工機による新デザイン表現の研究と様々な分野での活用に向けた試作検討を繰り返し行った。その結果の一つとして、陶磁器のデザインとして、レーザーを照射することにより素地や釉薬の化学変化を起こし、新たな色柄を施した表現を創出することができた。

本研究では、産業用機械としてのレーザー加工機をデザイン視点から用いることで、工芸の分野に対して新たな表現の創出が可能であることが示された。

今後、陶磁器におけるレーザー活用手法をより実用的な手法として確立するべく、課題の解決を図る為の実験と試作を行う。これとともに、この他の分野においてもレーザー加工機によるデザイン表現の可能性と活用方法を検討していく。

参考文献

- 1) 川本良徳 (1996) : “陶芸における緋色の研究”, 兵庫教育大学教科・領域教育専攻芸術系コース美術 (未公刊)
- 2) Yoshihiro Kusano 他, Accounts of chemical research 43, 6, 906-915 (2010)
- 3) ニューガラスハンドブック編集委員会 編『ニューガラスハンドブック』 p. 211
- 4) 白石 敦則 他, 佐賀県窯業技術センター平成 23 年度研究報告書『12』有田焼の発色メカニズムの解明と新規発色性陶磁器の開発』
- 5) 若松 盈 他, 窯業協会誌 94, 4, 387-392 (1986)
- 6) 森谷 太郎 他 編『ガラス工学ハンドブック』 p.740

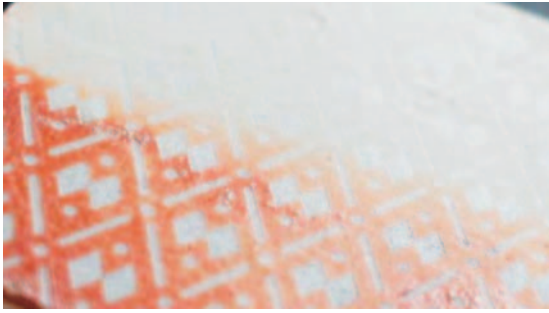


図1 レーザー加工による色分けがなされたテストピース

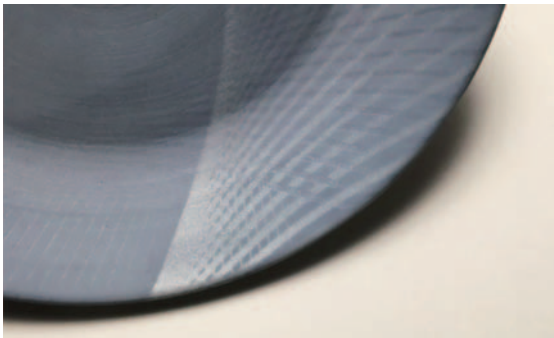


図7 塩化コバルトを塗布したデザイン試作



図8 レーザー照射による酸化銅釉の色変化

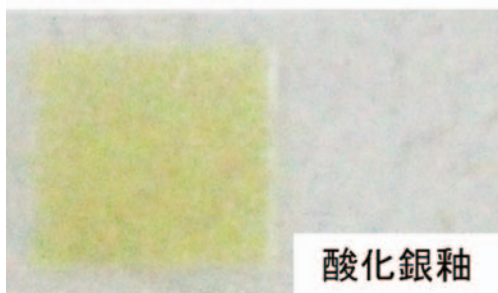
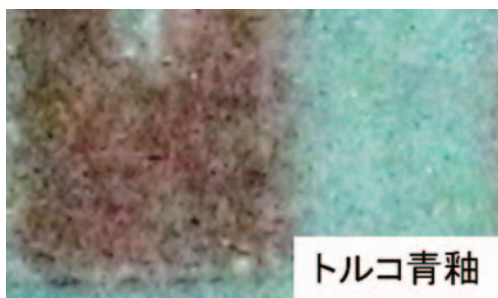


図10 レーザー照射後のトルコ青釉及び酸化銀釉

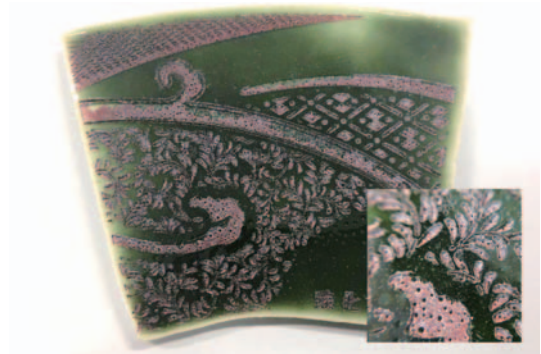


図11 酸化銅釉に施したレーザー加飾

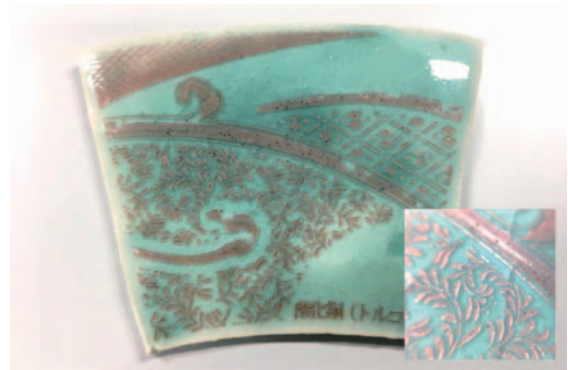


図12 トルコ青釉に施したレーザー加飾

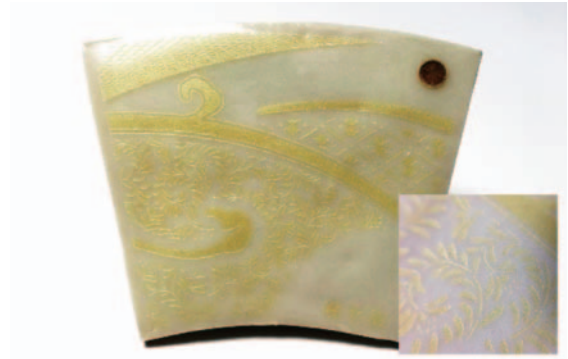


図13 酸化銀釉に施したレーザー加飾