

宝石及び貴金属素材のYAGレーザー加工技術の向上

—CADデータによる加飾加工法—

中山 信一・佐野 照雄

Study on YAG Laser Machining of Gems and Noble Metals

— Superficial Ornament Process Method by CAD Data —

Shin-ichi NAKAYAMA and Teruo SANO

要 約

YAGレーザーの固定光学系及びガルバノスキャナ光学系により、ロストワックス精密鑄造工程で用いるシリコンゴムを対象に加工実験を行った。その結果、固定光学系ではレーザー照射出力が2.2KW、発振周波数が2KHzの場合、CADデータに基づき忠実な加工ができた。一方、ガルバノスキャナ光学系での適正加工条件は、レーザー照射出力3.8KW、パルス繰り返し数8KHzであった。また、これらの条件のもとで、通常の加工では困難な宝飾品の裏抜き部等への加飾が可能となった。

さらに、イメージスキャナより入力した写真等の画像データに基づき、宝石及び貴金属表面に加工を施すためのソフト開発と貴金属素材を対象に加工実験を行った。その結果、開発したソフトを用いることで素材によって多少の加工性の違いはあるものの、ピクセル間隔が0.1mmまでの微細加工と曲面上への加飾加工が可能となった。

1. 緒 言

本県の代表的地場産業である貴金属宝飾品製造業は、工程毎に細分化された数多くの小規模企業から成り立ち、多品種少量生産を行っている。また、製品自体は小さく複雑な形状のため、主要工程は熟練者による手作業を余儀なくされている。

一方、機械設備は旧態依然としたものが多く、新設設備や高度技術の導入が遅れている。このため、製品を製作する上で前工程の精度が組み立て精度や最終仕上げ請工程までも影響を及ぼし、強いては生産性の低下へとなって現れてきている。

また、貴金属装身具製品は、金・銀・プラチナ等、素材が限られているため、自ずとデザインにも行き詰まり感が否めない。このため、製品に何らかの加飾を施すデザイン展開が図られることが多い。しかし、従来の手作業による部品接合や特殊工具による加飾加工では、微細形状のデザイン表現は困難な場合が多い。

本研究は、金・銀・プラチナ等の貴金属素材に微細な加工を施した商品開発を目的としている。昨年度は、貴金属素材に対し、CWQスイッチ付YAG (Yttrium Aluminum Garnet) レーザ加工装置による加工条件と加工特性との関係を把握する目的で実験を行った。

レーザーによる加飾加工を施す場合は、貴金属製品、ロストワックス型取り用シリコンゴム型及びワックス型が対象として考えられる。ワックス型への加飾加工は、融点が極端に低いことから、困難が想定される。このため、本年度は固定光学系及びガルバノスキャナ光学系において、ロストワックス用シリコンゴム型へのレーザー加工を行った。

また、イメージスキャナなどにより取り込んだ写真等の画像データに基づき、貴金属表面に微細表現を施すための基本データを取得し、YAGレーザー加工装置に付属しているガルバノスキャナ光学系を使用して、適正な加工条件を求める目的で検討した。写真などの画像データは、色相、濃淡などの情報を有している。レーザー加工の場合、表面に微小の穴を明けて画像を表現するということから、多色化が困難であり、加工時には色情報は欠落する。濃淡情報は、新聞のモノクロ写真と同様に、2値化することにより近似的な表現が可能である。

2. 実験装置および実験方法

2-1 YAGレーザー加工装置

本装置は、切断、マーキング、溶接加工の機能を有し、切断・マーキング用にはCWQイッチタイプのYAGレーザーを、溶接用にはパルスYAGレーザーを使用する。

(1) CWQスイッチYAGレーザー

切断・マーキング用CWQスイッチ付YAGレーザー (Model 8100MQ)

発振波長 : 1064nm

発振横モード : マルチモード

平均出力 : 100W (繰り返し10KHz時)

ピーク出力 : 130KW以上

繰り返し周波数 : 0~50KHz

消費電力 : 220VAC±10% 50/60Hz, 30A

テーブル移動範囲 : X:200, Y:100, Z:100mm, θ :360°

スポット径 : 15~20 μ m

(2) スキャニングモジュール

- (3) 3次元CAD/CAMソフト
VISI-CAD/CAM セイコー電子工業
- (4) イメージデータ編集ソフト
COREL DRAW 7J
- (5) 開発用ソフト
Visual Basic Ver.4.0
Visual C
- (6) バイナリデータ編集用ソフト
狐' バイナリエディタ Ver.2.05

2-2 ガルバノスキャナ光学系

図1は、実験に使用したCWQスイッチVAGのレーザに付属しているガルバノスキャナ光学系である。

レーザ光が固定集光光学系に入る手前で、90度折り返しミラーによりスキャニングヘッドへと導き、マーキング用ソフトウェアで設定した任意の文字や図形をワーク上にマーキングする。マーキングするための折り返しミラーを光路上にセットするには、レーザ用リモート操作ボックスにある光路切り替えスイッチで行う。

2-3 マーキング方法

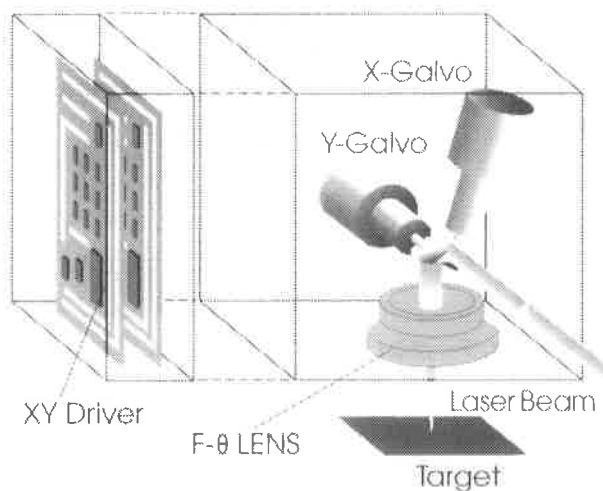


図1 ガルバノスキャナ光学系

貴金属製品への加飾加工を実現する方法として、貴金属製品への直接、ロストワックス、型取り用シリコンゴム型、ワックス型が考えられる。今回は、レーザによる加工性が良いシリコンゴム型を対象に加工を試みた。シリコンゴム型は、ロストワックス鑄造法のワックス型作成用として用いられている。貴金属製品の裏ぬき部に直接レーザ加工を行うことは困難な場合が多いが、シリコンゴム型では、裏ぬき部が殆ど凸状になるため、加工が容易となる。

今回は、固定光学系とガルバノスキャナ光学系を使用して、加工実験を行った。

図2は、固定光学系を用いて加工した試験パターンである。

焦点位置は、合焦点からプラス方向に0.5mm間隔で加工を行った。ただし、レーザ照射出力は全て2.2KWで行った。

図3は、ガルバノスキャナ光学系を用いて行った加工実験のパターンである。

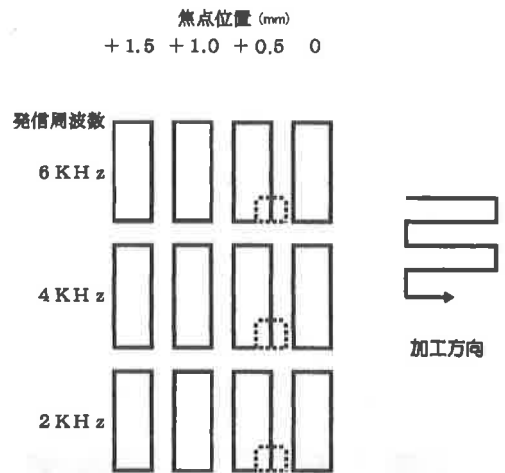


図2 シリコンゴムの加工パターン (固定光学系)

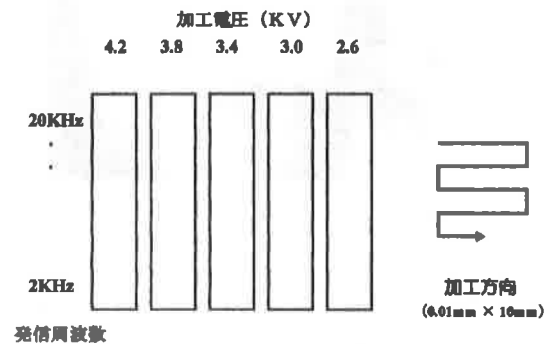


図3 シリコンゴムの加工パターン (ガルバノスキャナ光学系)

2-4 ポイントアンドシュート加工

イメージデータを貴金属上に加工する場合には、ピクセル単位の加工が必要となる。このため、ポイントアンドシュートによる貴金属素材表面の加工状況を把握する必要がある。そこでガルバノスキャナ光学系による貴金属素材の適正加工条件を把握するため、照射パルス数の違いによる加工状態の変化について検討した。

今回用いたガルバノスキャナ光学系自体の分解能は、約10μmである。加工試料は、板厚0.3mmの金(K18)、銀(Ag925)及びプラチナ(Pt900)である。

また、レーザ照射の条件は、パルス幅、照射パルス数、レーザ照射出力の3因子とし、水準としてパルス幅は(20,60,100μsec)の3水準、照射パルス数は(1,2,4,8,16,32,64,128,256,512,1024回)の11水準、レーザ照射出力は

(2.6, 2.8, 3.0, 3.2, 3.4, 3.6, 3.8, 4.0kW) の8水準で実験を行った。レーザ照射加工実験後の評価試験は、レーザ加工穴径の測定、及びレーザ顕微鏡による形状測定により行った。

2-5 イメージデータ加工

ガルバノスキャナ光学系を用いたイメージデータの加工手順は以下の通りである。

(1) 画像データの取り込み

画像データをデジタルカメラ、或いは写真等はイメージスキャナから入力する。

図4は、入力した画像データの原画像である。

(2) 画像データの調整

図5は、取得した画像データをレーザ加工に適したサイズ、階調に調整したものである。画像の調整には、市販のペイ



図4 原画像 (グレースケール)

ント系ソフトを使用した。

なお、このときの最大加工サイズは、65×65mmである。また、画像の階調は2階調で濃淡はエラー拡散方式により表現した。

(3) 加工データの作成

次に、調整した画像データから、ガルバノスキャナ用加工データファイル (MCLファイル) を作成する。MCLファ



図5 2値化画像 (エラー拡散方式)

イルは、1命令セットが5バイトのバイナリデータで構成されている。命令には、ペン指定、絶対ジャンプ、相対ジャンプ、ショット命令 (含照射パルス数) および終了命令がある。ポイントアンドシュート加工の手順は、図6の通りである。

加工データは、バイナリファイル用エディタを用いる方法と試作したMCLファイル作成用アプリケーションソフトを用いる方法の2通りがある。

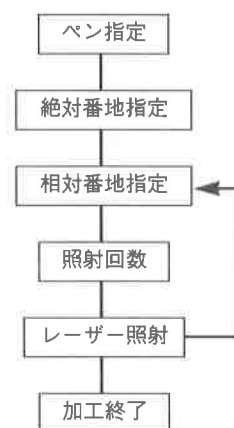


図6 ポイントアンドシュートのダイアグラム

試作したMCLファイル作成用アプリケーションは、windowsの標準ビットマップファイル (BMPファイル) を読み込み、ピクセル毎に指定回数レーザ照射し、ビットマップイメージに従って加工を行うためのデータを生成するものである。開発言語には、VisualBasicを使用した。

(4) レーザ加工

あらかじめ作成しておいた加工シーケンスファイル (テキスト形式) を1行毎に読み込み、ガルバノスキャナのコントローラに転送した。コントローラは、読み込んだシーケンスを実行しエラーがなければ次のシーケンスを実行する。

シーケンスを実行するために開発したソフトは、windows環境における割り込み処理による弊害をさけるため、DOS環境で実行した。開発言語はVisual C++を使用した。

3. 実験結果及び考察

3-1 シリコンゴムへのマーキング加工

表1は固定光学系を用いた、発振周波数と焦点距離による加工深さを示す。この表から、発振周波数が、2KHzでは焦点距離が+1.5mmの位置が最も加工深さの値が大きい。発振周波数4KHzでは、焦点距離が+1.0mmの位置で加工深さが-1.5mmと最も大きくなっている。一方、発振周波数が6KHzの条件では焦点距離に関わらず、-1.2mmと変化がないことが分かる。

周波数	0	+0.5	+1.0	+1.5
2KHz	-0.7	-0.5	-0.7	-0.8
4KHz	-0.9	-1.2	-1.5	-1.2
6KHz	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2

(単位mm)

表1 発振周波数と加工深さ



図7 コーナー部の加工状態 (6KHz)

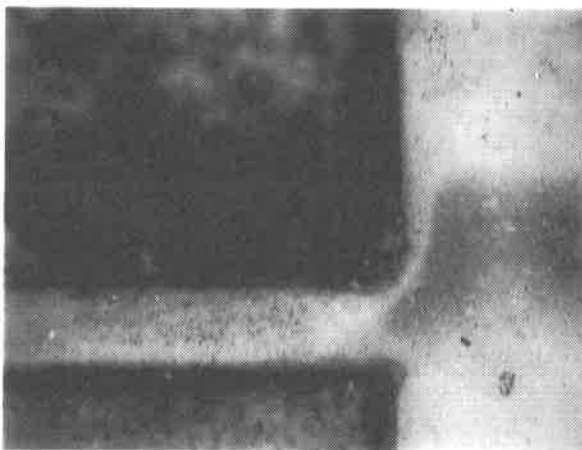


図8 コーナー部の加工状態 (4KHz)

図7から図9は、図2の破線部分の加工状態をビデオマイクロスコープにより観察したものである。なお、レーザー照射

出力は2.2KWと一定とし、この時の発振周波数の違いによる加工状態を表したものである。この結果、発振周波数が2KHzと最も低い条件では、コーナー部が精度良く加工されていることが分かる。このことから、シリコンゴム型への加工においては、周波数が6KHz、4KHz、2KHzと低くなるにつれて忠実に加工でき、微細な加飾加工には重要な条件となる。

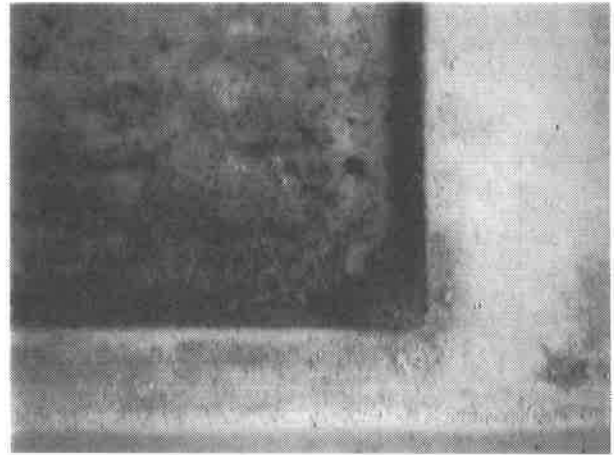


図9 コーナー部の加工状態 (2KHz)

図10は、ガルバノスキャナ光学系を用いた、レーザーの発振周波数と加工深さとの関係を示す。なお、加工深さの測定は、表面形状測定機を用いて求めた。図から、出力に関わらず発振周波数が、14KHzから20KHzにかけて加工深さの値が増大している。出力3.4KWは、16KHzを境に20KHzまで加工深さの値が急増している。3.8KWは、2から6KHzにかけて加工深さの値が減少しているが、14KHzを境に18KHzまで加工深さの値が急増している。一方、出力が4.2KWは、全体的に加工深さの値が大きい、特に10KHzから18KHzまでは漸増傾向にある。

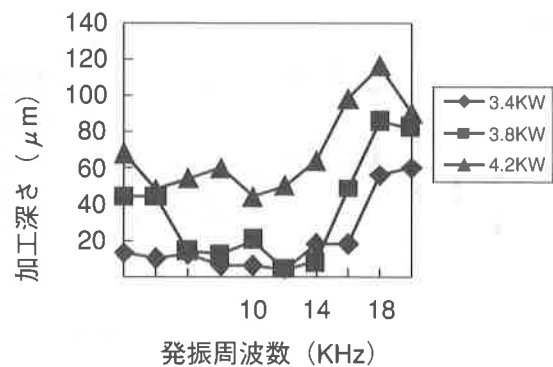


図10 発振周波数と加工深さ

3-2 ポイントアンドシュート加工

図11は、Ag925素材での照射パルス数に対する加工穴径の変化を示したものである。加工穴径は照射エネルギーの増加

に伴い増大する。また、照射エネルギーが4.0KWのとき最大穴径は290 μm に達する。また、総体的に照射パルス数が10~16回付近で加工穴径が最大となる傾向を示していることが分かる。

図12は、Au (K18) 素材での照射パルス数に対する加工穴径の変化を示したものである。2.6KWと低い照射出力では照射パルス数が8回で加工穴径が最大値を示しているが、加工穴径は照射エネルギーと照射パルス数が増大するに伴い、大きくなっている。照射エネルギーが4.0KWの場合、照射パル

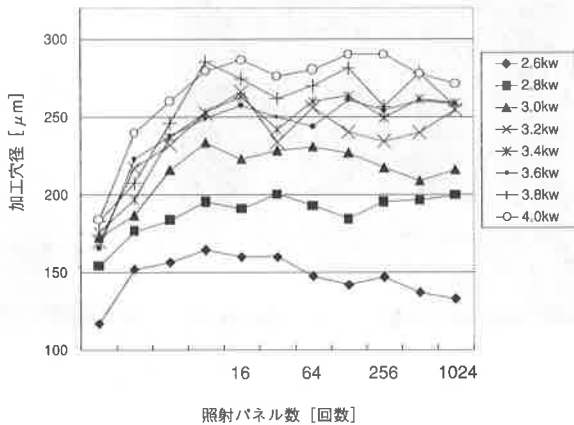


図11 照射パルス数と加工穴径 (Ag925)

数が512回で加工穴径は300 μm と最大値を示す。

図13は、Pt900素材での照射パルス数に対する加工穴径を示す。他の2種類の貴金属素材に比べ、Pt900では、全ての照射エネルギーでパルス数が32回するとき穴径は最大値を持つことが分かる。また、照射エネルギーが4.0KWでは照射パルス数が32回で穴径は320 μm と最大値となる。

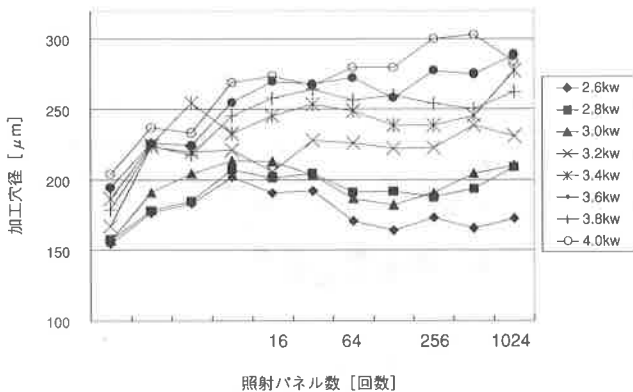


図12 照射パルス数と加工穴径 (Au(K18))

図14-1~図16-3は、Ag925, Au (K18) 及びPt900素材を用いて、照射エネルギーを2.6KWと一定とし、照射パルス数を1回、32回、1024回の条件で加工したときの表面状態を示し

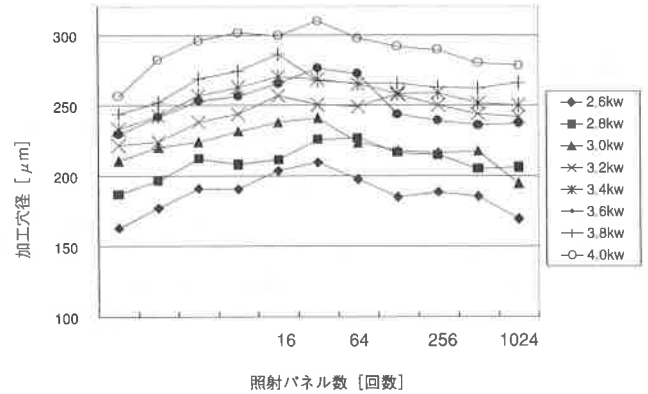


図13 照射パルス数と加工穴径 (Pt900)

たものである。

図14-1~3から、照射パルス数が1回では、素材表面にほとんど変化は見られない。32回ではレーザービームにより素材が熔融・蒸発が繰り返されたことから、周囲が盛り上がり、1024回では、貫通穴が現れている。

図15-1~3は、Au (K18) 素材での照射パルス数による加工表面の変化を示したものである。Ag925に比べAu (K18) では、照射パルス数が僅か32回で貫通穴が現れて、1024回では、長径150 μm 、短径100 μm の大きな貫通穴となって現されている。

図16-1~3はPt900素材での照射パルス数による加工表面の変化を示したものである。Ag925, Au (K18) と比較し、32回の照射で中心部が盛り上がる。照射パルス数が1024回と多い場合でも、極僅かの貫通穴が現れている程度である。

これらの結果から、ガルバノスキャナ光学系による各貴金属素材の加工性は、Au (K18) > Ag925 > Pt900の順であることが確認できた。

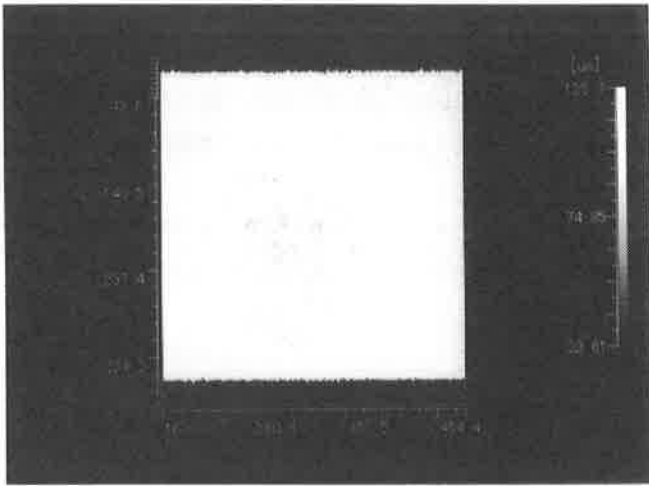


図14-1 (Ag925,照射パルス数1回)

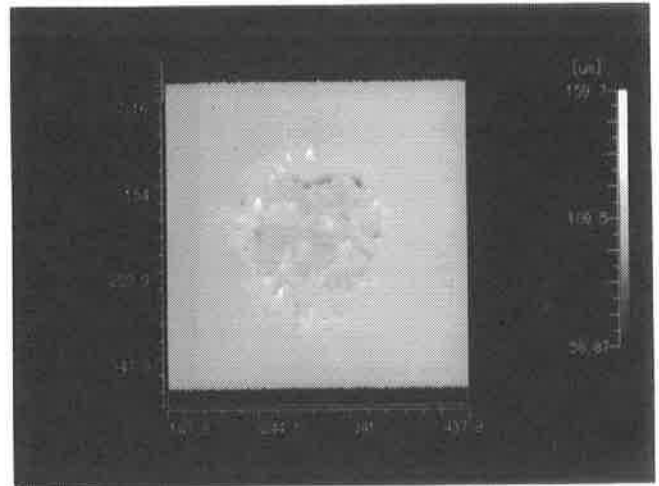


図15-1 (Au (K18),照射パルス数1回)

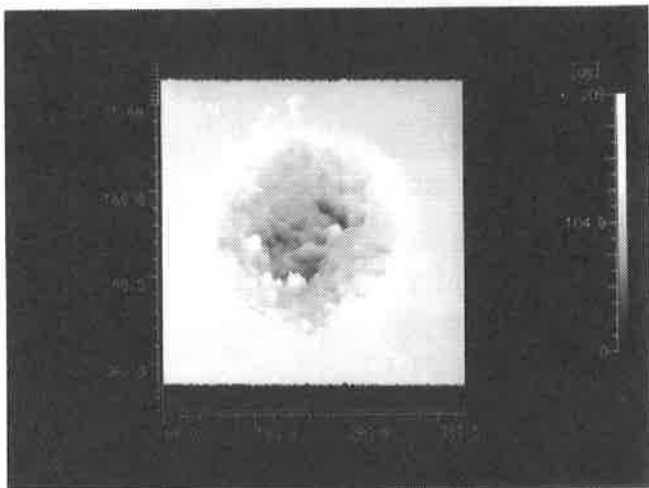


図14-2 (Ag925,照射パルス数32回)

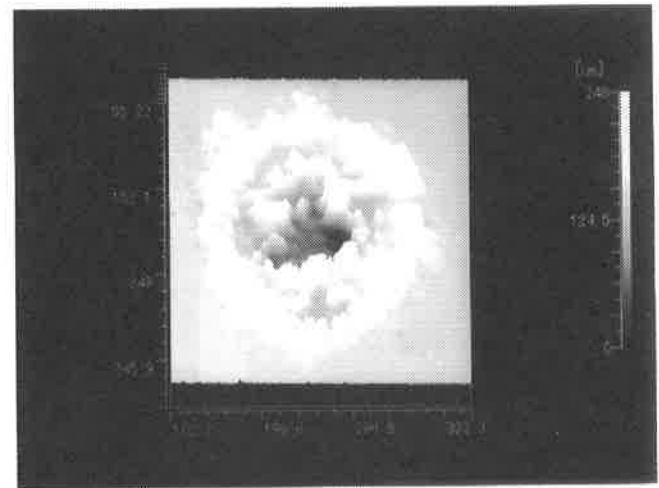


図15-2 (Au (K18),照射パルス数32回)

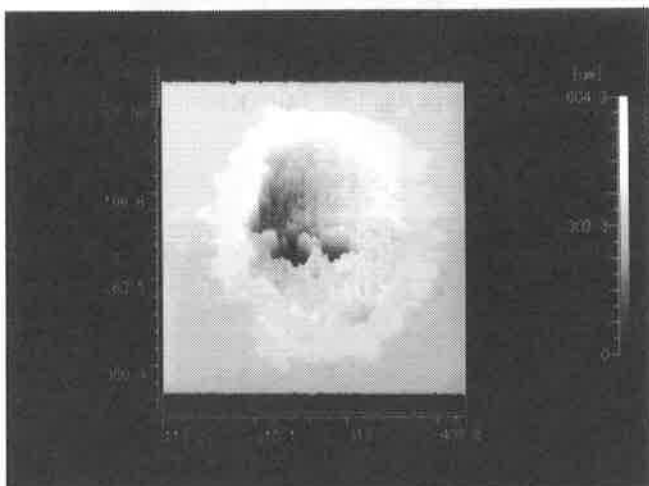


図14-3 (Ag925照射パルス数1024回)

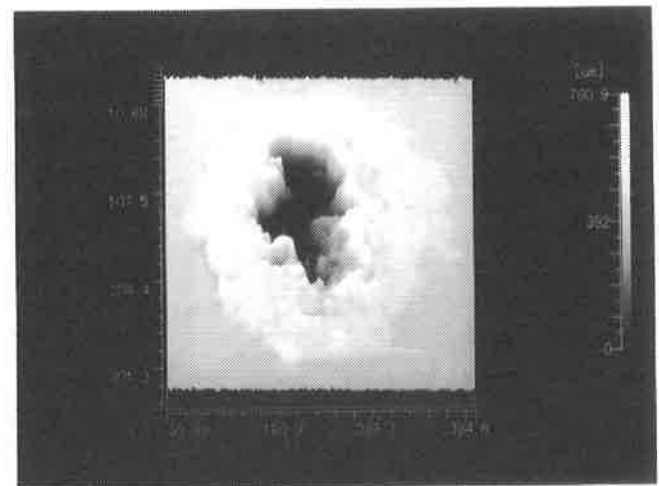


図15-3 (Au (K18),照射パルス数1024回)

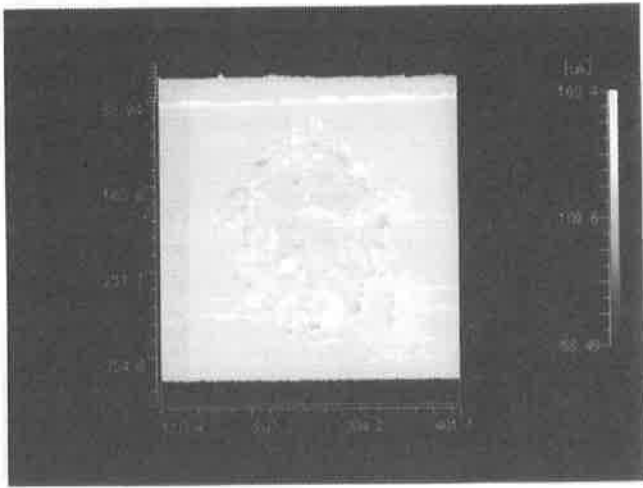


図16-1 (Pt900,照射パルス数1回)

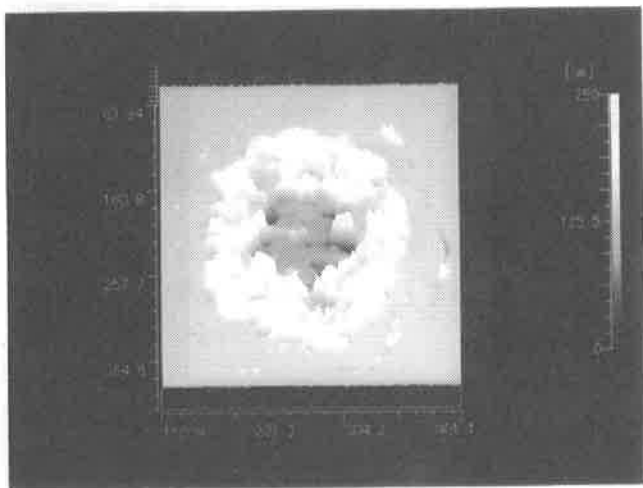


図16-2 (Pt900, 照射パルス数32回)

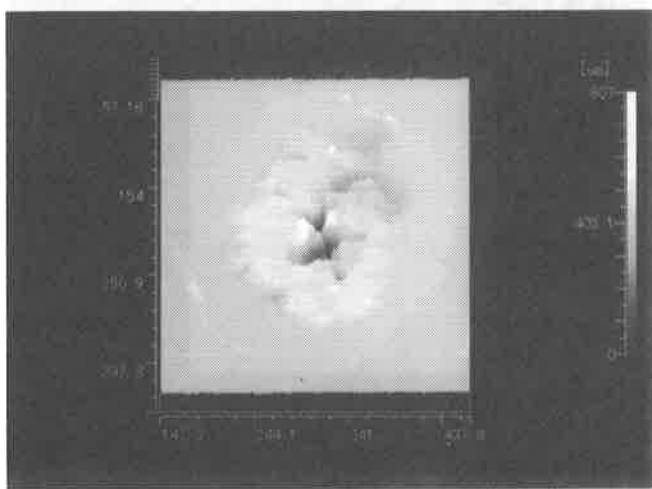


図16-3 (Pt900, 照射パルス数1024回)

3-3 イメージデータ加工

実際にAg925,Au (K18) ,pt900の各貴金属素材にイメージを加工した結果を図17~図19に示す. 加工条件は, 各貴金属素材とも出力2.6KW, 照射パルス数8回, 焦点距離は+10mmで行った.

この結果, Au (K18) > Ag925 > Pt900の順で鮮明に表現されることが分かった.

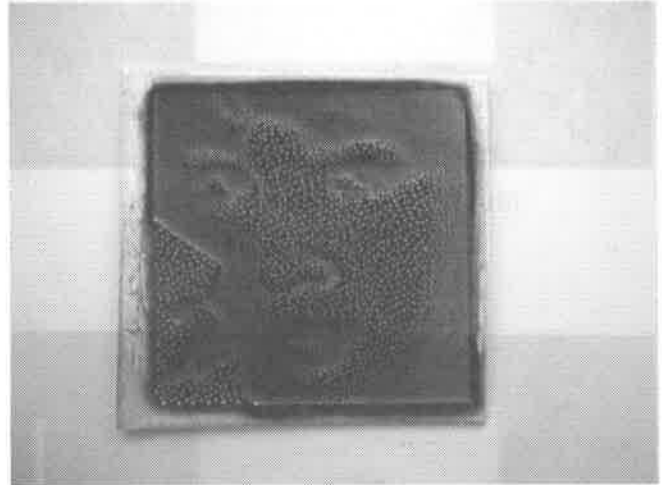


図17 加工例 (Ag925)

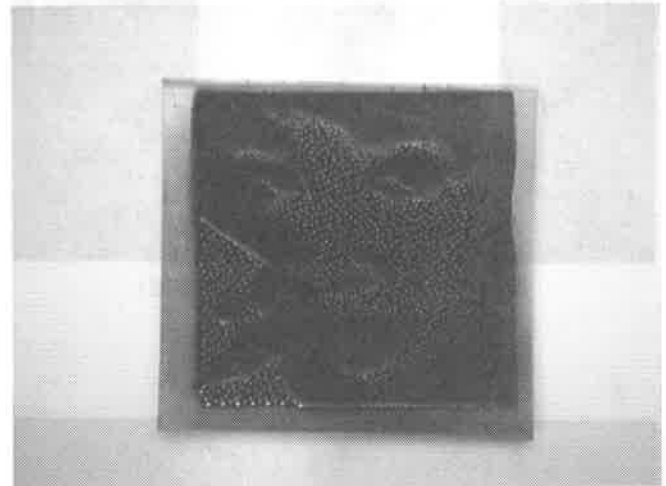


図18 加工例 (Au (K18))

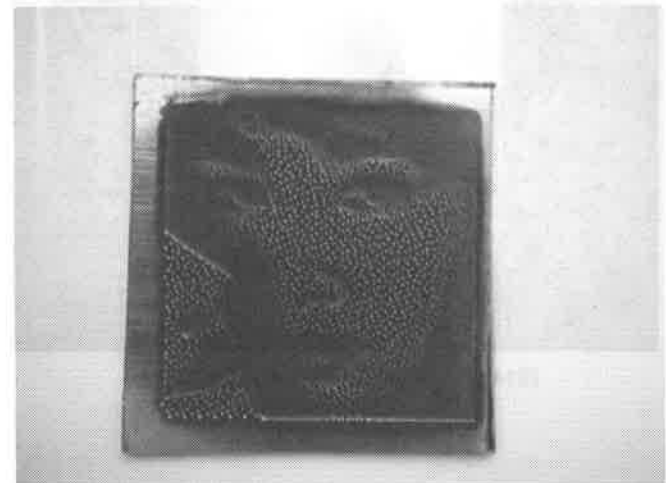


図19 加工例 (Pt900)

4. 結 言

YAGレーザーを用いた加飾加工方法について検討を行った結果、次の結論が得られた。

- (1) ロストワックス精密鑄造用シリコンゴム型への加工は、出力2.2KW時において発振周波数が6KHzに対し2KHzと低い程、CADデータに忠実にしかも精度良く加工できる。一方、ガルバノスキャナ光学系での適正加工条件では、レーザー照射出力3.8KW、パルス繰り返し数8KHzである。このことから、適正な条件によりシリコンゴム型への微細な加飾加工は十分可能である。
- (2) 貴金属素材の同一箇所、連続的にパルス照射することにより、加工深さの値が増加するが、溶融した金属が照射箇所の周辺に堆積し、クレータ状を形成する。さらに照射を続け穴が貫通すると貴金属素材にこもるエネルギーが解放され、その周辺に堆積する量も減少

する。

- (3) イメージ加工用データ (MCLデータ) の生成用アプリケーションを試作し、各貴金属素材を対象にイメージデータの加飾加工実験を行ったところAu (K18) > Ag925 > Pt900の順に鮮明な表現が可能となった。

参考文献

- 1) 平野英樹：“最新レーザー加工技術総覧” テック出版 (1994)
- 2) 中山 ほか：山梨県工業技術センター研究報告p22 (1995)
- 3) 中山 ほか：山梨県工業技術センター研究報告p59 (1997)
- 4) COREL DRAW 7J DATA
- 5) ジェネラルスキャニングカタログ