

【D19】レーザーマイクロ加工による撥水性表面構造の製作と特性評価

04E2038 中藤 拓也 (指導教員 河村 良行 教授)

1. 緒言

レーザー技術は今や私たちの生活になくてはならないものとなっている。レジなどでよく見かける商品のバーコード読み取り機、さまざまな情報を記録して処理する CD や DVD、レーザープリンタなど、これらはすべてレーザー技術を利用したものである。

レーザー光は指向性に優れているため散光せず、レンズを用いることにより光を焦点に集束させることができる。この特徴により微小な面積に高密度のパワーが得られ、材料の微細な加工が可能となっている。本研究では、紫外レーザーである Nd:YAG レーザーを用いて加工対象となる材料を 5 軸加工台に配置し、任意の位置に移動できるように制御をして微細加工を行い、アメンボの脚のような凹凸のある撥水性表面構造を製作して、その特性評価を行うことを目的とする。

2. 実験装置

図 1 に実験装置の概略を示す。加工するためのレーザーは Nd:YAG レーザーを用いる。このレーザーは波長が 266[nm]、繰り返し速度が 30[Hz]、最大出力が 5[mJ]である。そして、ミラーで反射させながら最終的に加工物に導かれる。レーザー光は、 $f=200$ (焦点距離 200[mm])と $f=50$ (焦点距離 50[mm])の石英レンズを用いて集光させた。また、余分な光を遮断するためのピンホールを作るには OHP シート(厚さ 0.1[mm])、材質 ポリエステル)を用い、OHP シートに直接レーザー光を照射して穴を開けることによって、最も集光している部分を効率的に集めることができるようにした。

図 1 に示すように加工台には CCD カメラを設置している。この CCD カメラとモニター、 $f=250$ (焦点距離 250[mm])のレンズを用いて加工状態がモニターに拡大表示できるようになっており、倍率は約 173 倍である。また、CCD カメラに映る映像が外からの光の影響で映らなくなるため、絞りをを用いて光量を制限した。全体の制御は、パソコン上で実行した Visual Basic 6.0 のプログラムで TTL ボードを通じて 5 軸加工台駆動装置を制御して、これを駆動する。

5 軸加工台は直線軸移動ステージである X 軸、Y 軸、Z 軸と、ステージ自体が回転する θ 軸、モーターの軸によって回転する ω 軸の 5 軸で構成されている。今回は 5 軸のうち X 軸、Y 軸、Z 軸を用いて研究を行った。この 3 軸の最小送り量は 1[μ m]である。

3. 実験方法

3.1 実験材料

実験材料には株式会社テックジャムで購入したテフロンシート(フッ素樹脂 PTFE)を使用した。

PTFE はフッ素原子と炭素原子のみから成るフッ素樹脂である。フッ素樹脂は化学的に安定で耐熱性、電気的特性、低摩擦性、耐薬品性、非接着性、耐候性に優れている^[2]。

3.2 プログラム

実験を行う際、加工するときに 5 軸加工台の動作と

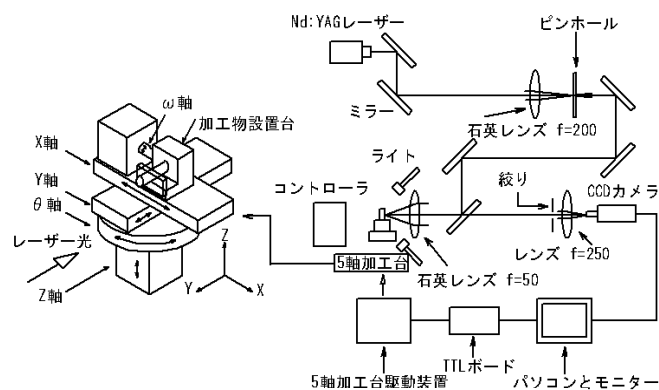
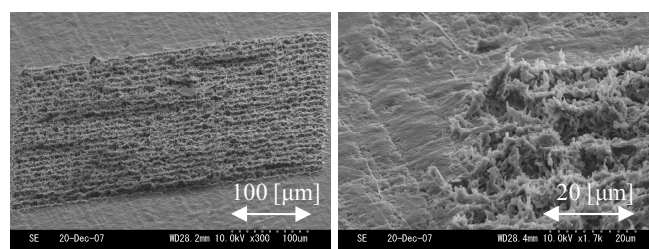


図 1. 実験装置



(全体)

(拡大)

図 2. 加工結果

レーザーの照射を制御する表面配列加工プログラムを Visual Basic 6.0 で作成した。

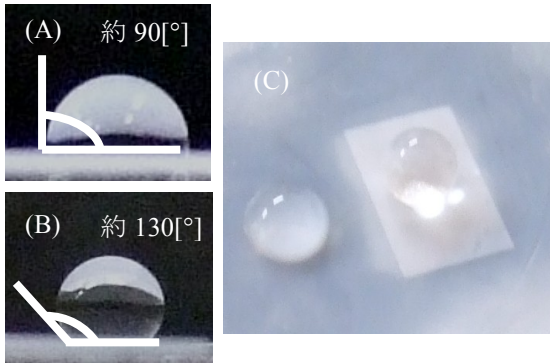
尚、この実験では照射されるレーザーの位置に誤差が出ないようにするため、小数は使えないようにしている。また、加工を開始する前にどのような形状に加工されるのかをわかるようにするため、加工後の材料の形状を数値入力画面上にグラフィックで表示できるようになっている。さらに、さまざまな加工のパターンを試すため、標準型と千鳥型というパターンを変更して実行できるプログラムも作成した。この表面配列加工プログラムを用いてテフロンを加工し、撥水特性を調べた。

4. 実験結果と考察

4.1 テフロンの加工

表面配列加工プログラムを用いてテフロン(厚さ 0.2[mm])の表面加工を行い、エレクトロニクス研究所にあるイオンスパッタ装置にかけて材料の表面をコーティングした後、SEM(走査型電子顕微鏡)を使って材料を観察した。図 2 に加工結果を示す。

加工条件は、 $(\Delta X, \Delta Z)=(15, 15)[\mu\text{m}]$ 、列の数 27[点]、行の数 27[本]、照射回数は 5[回]、実行回数 1[回]、レーザー出力は約 0.32[mJ]とした。しかし、この加工条件は図 3 を加工した場合の条件であり、撥水特性を調べるためにはさらに大きな加工面が必要となる。そのため実際には列と行の数を変更し、列の数 200[点]、行の数 200[本]とした。図 2 の加工面を見てみると、プログラム通りの形状にはならず、もとの表面よりも少し盛り上がり、綿状の表面が形成されていた。



(A 表面加工なし) (B 表面加工あり) (C 鳥瞰図)
図 3. 撥水特性実験

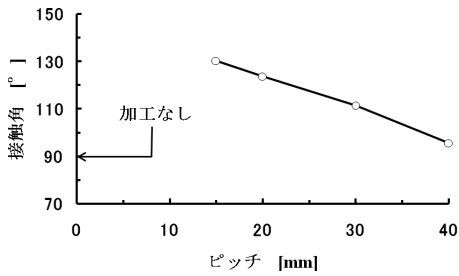


図 4. ピッチー接触角との関係

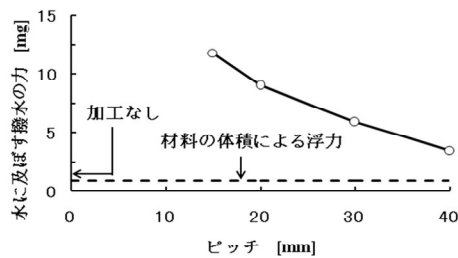


図 5. ピッチー撥水の力との関係

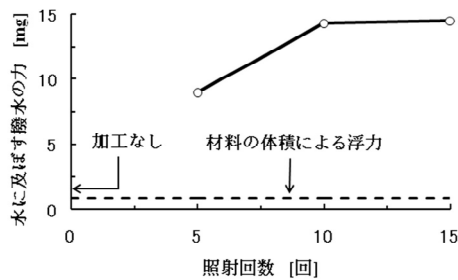


図 6. 照射回数ー撥水の力との関係

4.2 テフロンの接触角の測定

表面加工したテフロンの撥水特性を調べるために、液滴法という方法を用いて調べた。

液滴法とは、固体表面に付着した液体と固体との親和性を、固体表面と水滴との接触角により表すものである。水滴がある物質に接触した時の半径と水の高さの頂点を結んだ角度の 2 倍を接触角と呼んでいる。この接触角が小さければ小さいほど、つまり水滴が物質の表面に広がる状態になると撥水性が低く、水滴が球のようになると撥水性が非常に高いことになる。

接触角を求めるための式は

$$\theta = 2 \cdot \tan^{-1} \left(\frac{h}{r} \right) \cdot \frac{180}{\pi} \quad (1)$$

となり、 h は水滴の高さ、 r は水滴と物質が接触した位

置での水滴の半径である。上記の式を用いて、テフロン表面加工を行っていない面と加工を行った面の上に水滴を落とし、どちらの表面の撥水性が優れているのか実験を行った。水滴の高さと半径はスケールを用いて目読み、水滴には純水を用いた。理由は、水道水を使用すると成分(界面活性剤など)の影響で表面張力に変化が生じてしまい、正確な測定ができない恐れがあったためである。図 3 に $(\Delta X, \Delta Z) = (15, 15) [\mu\text{m}]$ のときの撥水特性実験の様子を示す。また、表面加工を行った面は、 $(20, 20) [\mu\text{m}]$, $(30, 30) [\mu\text{m}]$, $(40, 40) [\mu\text{m}]$ と変えて実験を行った。図 4 にピッチと接触角との関係を示す。

表面加工を行っていない面の接触角は約 $90 [^\circ]$ であり、表面加工を行った面の接触角は $(\Delta X, \Delta Z) = (15, 15) [\mu\text{m}]$ では約 $130 [^\circ]$ であった。この結果を見てわかるように、表面加工を行ったほうが約 $40 [^\circ]$ 接触角が大きくなり撥水性が高くなった。尚、 $(\Delta X, \Delta Z) = (15, 15) [\mu\text{m}]$ 以上にして同じ実験を行ってみたが、それだと接触角が小さくなってしまった。

4.3 テフロンが水に及ぼす撥水の力の測定

表面加工を行っていないテフロンと行ったテフロンを使用して、テフロンを水(純水)に浸けたときに水に及ぼす撥水の力の測定を行った。これは、秤の上に水の入った容器を置き、その水にテフロンを浸けることにより容器に加わった力を秤の値を読んで測定するものである。そして、撥水性が高ければ容器に加わる力が強くなり秤の値が大きくなる。テフロンの加工は全て同じ寸法に合わせ、縦 $3.5 [\text{mm}]$ 、横 $1.5 [\text{mm}]$ 、厚さ $0.2 [\text{mm}]$ とした。そして、水面から $3 [\text{mm}]$ 沈めたところでの秤の値を読んだ。測定はエレクトロニクス研究所にある電子天秤で行った。図 5 にピッチと撥水の力との関係を示し、図 6 に照射回数と撥水の力との関係を示す。

図 5 のグラフでは、ピッチの間隔を広くすると水に及ぼす撥水の力は次第に弱くなっている。図 6 のグラフからは照射回数を増やせば水に及ぼす撥水の力は強くなっていくが、照射回数が $10 [\text{回}]$ 以降はほとんど変化がなくなっている。しかし、結果として表面加工を行ったほうがより強い力が加わり、撥水性が高くなることがわかった。

5. 結言

以上のことをまとめると以下の通りである。

- (1) 表面配列加工プログラムは正常に動いていることが確認できた。
- (2) テフロンを表面加工するとミクロな綿状の表面が形成された。
- (3) 表面加工を行うと撥水性が高くなることがわかった。
- (4) X, Z のピッチを $15 [\mu\text{m}]$ 以下にして実験を行うと、さらに高い撥水性を持った表面ができる可能性がある。

今後はこの研究を応用して、アメンボ型のロボットを製作することを課題とする。

参考文献

- [1] 中井 貞雄:「レーザー工学」 オーム社
- [2] www.packing.co.jp/PTFE/ptfeindex1.htm
- [3] www.gifu-nct.ac.jp/elec/tokoro/fft/contact-angle.html