

平成 27 年度卒業論文

紫外パルスレーザーによる
加工精度の向上と応用

福岡工業大学工学部

知能機械工学科

12E1023 久保 晃治, 12E1041 田坂 隆晃

指導教員 河村 良行 教授

目次

第1章	緒言	1
第2章	実験装置	3
2.1	実験装置の概要	
2.2	三軸加工台	
2.3	入出力信号変換器	
2.4	LabVIEW	
第3章	集光実験	8
3.1	実験材料	
3.2	プログラム	
3.3	加工穴の観察結果と理論値	
3.4	紫外レーザー光のエネルギー照射密度を求める計算	
3.5	エネルギー照射密度と深さの関係	
第4章	テフロン撥水性表面構造の製作	15
4.1	実験材料	
4.2	プログラム	
4.3	加工表面の観察結果	
4.4	テフロンの接触角の測定方法	
4.5	テフロンの接触角の測定結果と考察	
4.6	テフロン以外での加工と考察	
4.7	テフロンの撥水表面加工による『マイクロフラットプレート』	
第5章	結言	28

参考文献

謝辞

付録

第 1 章

緒言

現在レーザー技術は私たちの生活になくてはならないものとなっている。レジなどで見かける商品のバーコード読み取り機，様々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。

レーザー光は単一の波長であり指向性が良い為，レンズを用いることにより光を効率的に焦点に集光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 Nd:YAG レーザーを用いてレーザー加工を行うために，対象となる材料を三軸に任意の位置に移動でき，同時にレーザーの制御も出来るレーザー・三軸加工台制御装置の作成を行った。そして，材料の微細加工を可能とし，テフロン撥水性表面構造の製作と応用としてマイクロフラットプレートの考案をして試作を行った。

第 2 章

実験装置

2.1 実験装置の概要

図 2-1 にレーザーによる三軸加工制御装置の概要を示す、加工するためのレーザーは波長が 1064nm である Nd:YAG レーザーを、KDP 結晶を用いて高調波を発生させて波長を 4 倍波である 266nm に変換された紫外レーザーである。このレーザーは繰り返し速度が 20Hz、最大出力が約 1.8mJ である。そして、ミラーで反射させ紫外光より長い波長の光を減らしながらピンホールを通り最終的に加工物に導かれる。レーザー光は、焦点距離 1000mm と焦点距離 50mm の合成石英レンズを用いて集光させた。また、余分な光を遮断しより小さなレーザー光にするためのピンホール（レーザービーム空間フィルタ）は $50\mu\text{m}$ を使用した。また、光をピンホールの光軸に通すために手動でピンホールホルダーを二軸に動かすことが出来る。これによって最も指向性が良い部分を効率的に集めることが出来る。 $50\mu\text{m}$ ピンホールを入れた時のピンホール後のレーザー出力は約 $2.5\mu\text{J}$ である。

全体の制御はパソコン上で実行した LabVIEW のプログラムでインターフェイス (National Instruments 社, USB-6009) を通じて三軸加工駆動装置とレーザー装置を制御して駆動している。また、エネルギーモニタはインターフェイスからパソコン上にデータを集録している。三軸加工駆動装置の最小送り量は $1\mu\text{m}$ で、レーザー装置の駆動周波数は 10Hz で駆動させた。

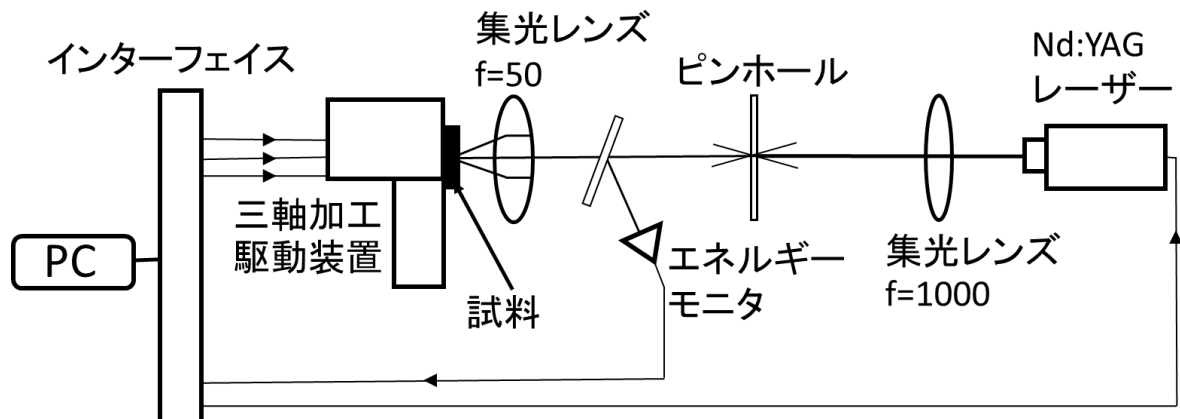


図 2-1 レーザーによる三軸加工制御装置

2.2 磁石による簡易リセッターステージ

三軸加工台は直線軸移動ステージであり、X 軸、Y 軸、Z 軸の三軸で構成されている。試料台は三軸加工台と図 2-2 のように装着できるようになっており、かつネオジム磁石を試料台と加工台に埋め込むことで毎回同じ位置に引き寄せ合うようになっていることから数 μm 以下の範囲でしかずれない。この時、試料台と加工台のネオジム磁石の位置はわざと少しずらして埋め込んでいる。また、試料台の中心は取り外し可能となっており、貫通の加工を行う際に試料台による反射光の影響を受けないためである。

三軸加工台と試料台の設計図面は付録に記載する。

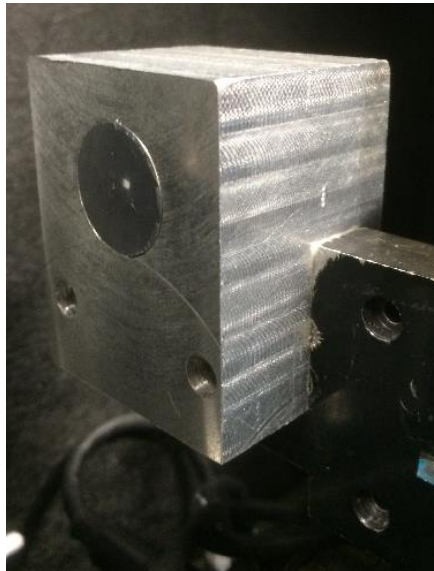


図 2-2 磁石による簡易リセットブルステージ (中心の丸い部分が試料貼り付け面)

2.3 入出力信号変換器

2.3.1 入出力信号変換器の概要

図 2-3 に入出力信号変換器を示す。パソコンとインターフェイスを USB で繋ぎ、LabVIEW で作ったプログラムの信号がインターフェイスから増幅装置に繋がれ電圧が約 1V から約 4V になりドライバへと信号がいき三軸加工駆動装置かレーザー装置へと信号が繋がれ駆動するようになっている。図 2-3 のレーザーモニタからインターフェイスに信号が入り、電圧信号がパソコン上に 0.1 秒毎に保存される。

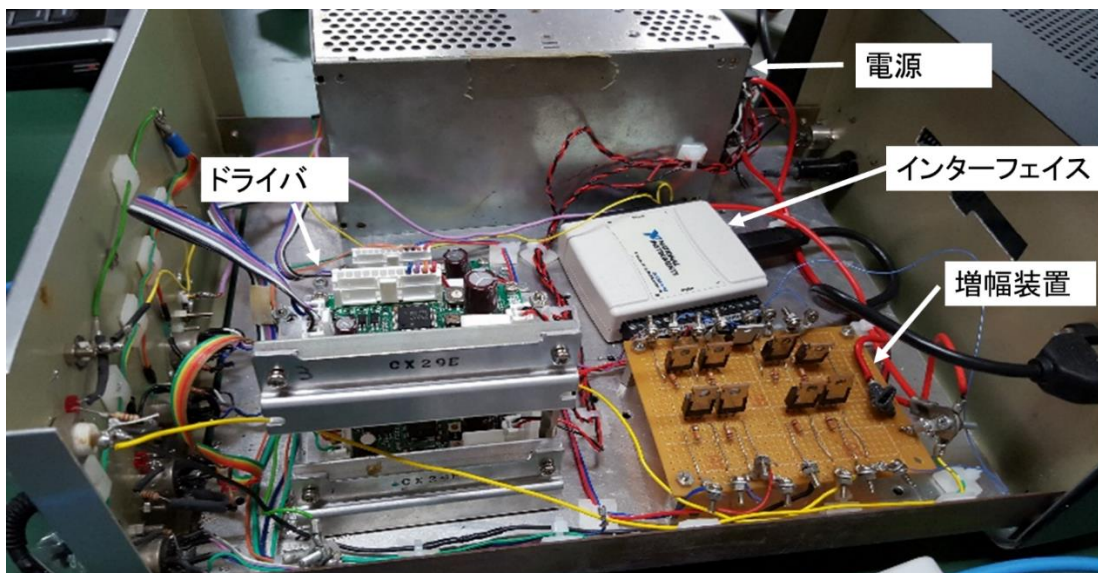


図 2-3 入出力信号変換器

2.3.2 5相ステッピングモータードライバ

信号はドライバの cw か ccw に接続される. cw に信号がきたらモータは右回りで駆動し, ccw に信号がきたらモータは左回りで駆動する. ドライバは Orientalmotor 社の CRD5103PB 5相ステッピングモータードライバを購入し使用した.

2.3.3 5ピンコネクタケーブル

図 2-4 に 5 ピンコネクタケーブルを示す. 過去の先輩が使用していた 5 ピンコネクタケーブルを使用したが, モータが上手く駆動していなかった為中の配列を調べた. 結果正常に配列ができていないケーブルがあったので一つずつ確認を行い正常に配列し, モータは問題なく駆動することができるようになった.



図 2-4 5ピンコネクタケーブル

2.3.4 トランジスタによる電力増幅装置

図 2-5 にトランジスタ(NPN 型, TC1569)による電力増幅装置の回路を示す. インターフェイスから直接ドライバに繋げるとモータは駆動しなかったため, この電力増幅装置の作成を行った. トランジスタを用いることで電力が増幅され, モーターやレーザー装置を駆動することが出来た. これを 8 回路用意しており, 1 回路はレーザー装置, 6 回路はモーターにつながっている. そして予備として 1 回路分用意している.

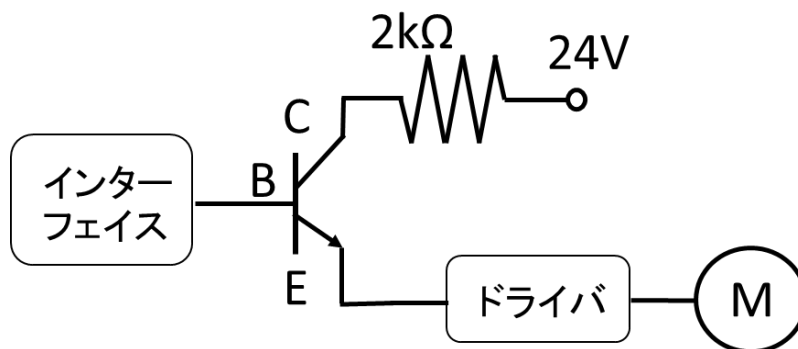


図 2-5 トランジスタによる電力増幅回路

2.4 LabVIEW2009

LabVIEW2009 とは, National Instruments 社の製品であり, グラフィカルなプログラミングツールである. 学科ライセンスを取っているため誰でも使うことが可能である. プログラミング言語を覚える必要はなく, 絵を描くようにしてプログラムを作成できるため, 非常に使いやすいプログラミングツールである. しかし, レーザー装置やモータを制御する際に, Windows を介して制御するため途中で何らかの負荷がかかり, レーザー装置が駆動周波数 20Hz を超えレーザー照射を停止する時がある. この問題の解決策としては, Windows を介さず制御できる National Instruments 社の my RIO という製品を使うか, 異常信号が来てもレーザー装置が止まらないプログラムを作るなど, 解決策を考える必要がある.

第 3 章

集光実験

3.1 実験材料

今回の実験に使用した試料はポリイミド樹脂^[1]である。ポリイミド樹脂は1980年代に米デュポン社が航空・軍用に開発したエンジニアリングプラスチックである。特徴としては耐熱性が高く、摩擦や水分にも強い。対薬品性や電気絶縁性、機械的強度にも優れた性質を持つ。融点を持たず、大気中では288℃までの連続使用が可能である。短時間であれば400℃の温度に耐えうる。高温においても軟化せず、高荷重を支える。有機溶剤、グリソ、オイルに対しては影響を受けない。但し、100℃を超える熱水又は蒸気下での使用、各種塩基類の水溶液中での使用は物性劣化が大きい。また、アルカリにも影響を受ける。この特徴を活かし、パソコン、ワープロなどの液晶表示装置を駆動するIC基盤やフレキシブルプリント回路基盤などに盛んに活用されている。

ポリイミド樹脂は紫外レーザー光に対し蒸散作用に優れている点を利用して集光実験に使用した。

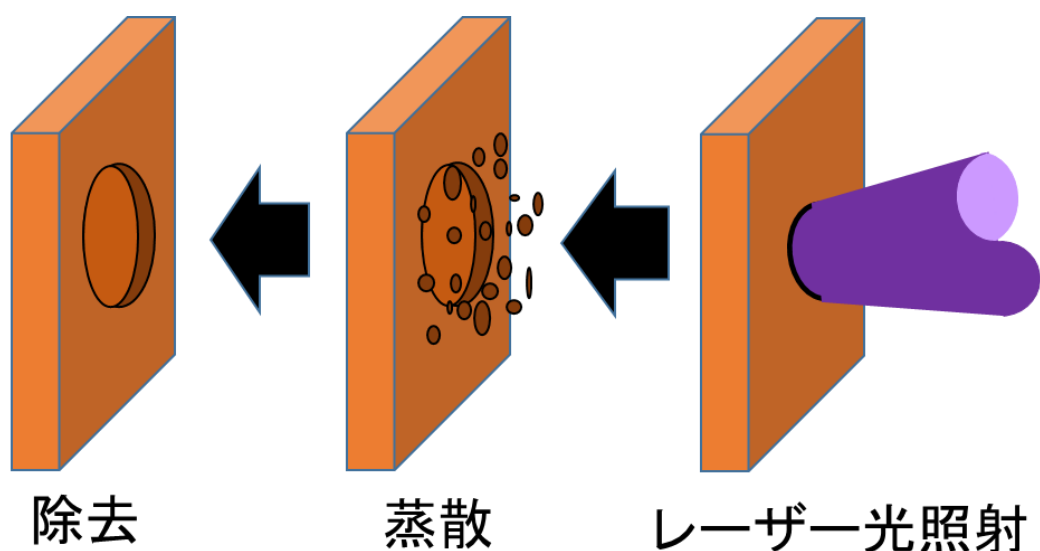


図 3-1 紫外レーザーの照射によるポリイミドの加工経過

3.2 三軸移動・レーザー制御プログラム

加工するときに三軸加工台の動作とレーザーの照射を制御し、焦点を探す実験プログラムをLabVIEW2009で作成した。図3-2に数値入力画面を示す。

まず、レーザーの照射を制御する時は照射回数を1回から倍々にしていき128回まで照射する。1秒間に何回照射するかは図3-2の周波数と書いているところを変えられる。次に三軸加工台の動作を制御する時は、Y軸、Z軸、焦点距離の数値を変えることで制御できるようになっており、入力した数値の1/2の距離(μm)で動くようになっている。

図3-3に焦点探索実験の加工形状を示す。この実験を繰り返すことで焦点を見つけた。

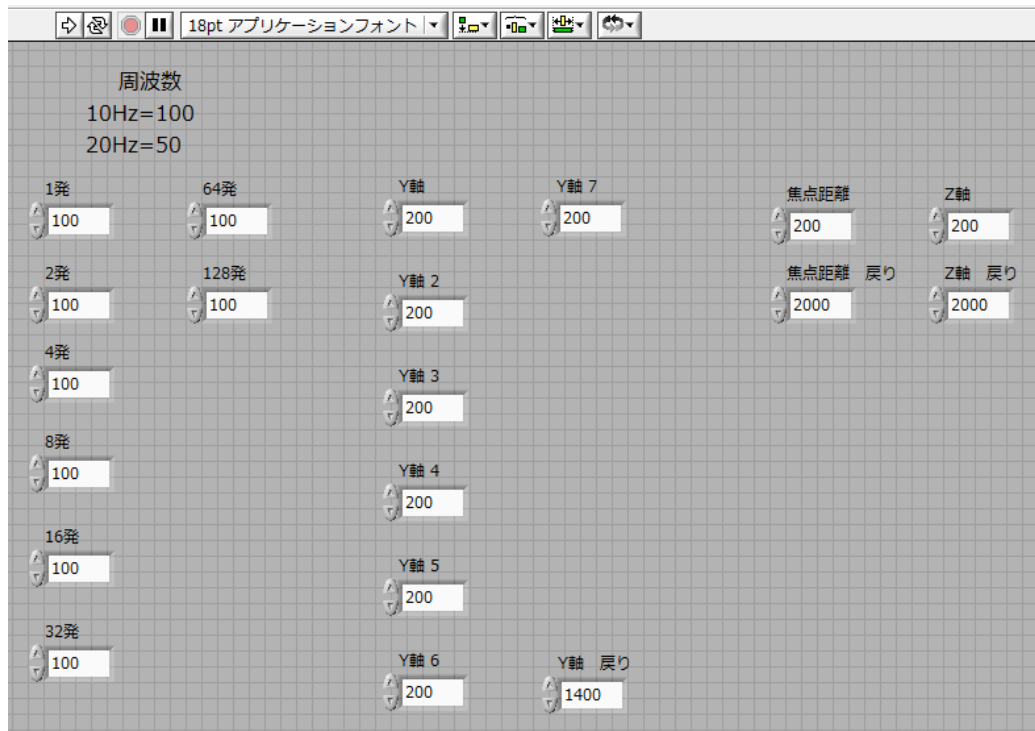


図 3-2 三軸移動・レーザー制御プログラムの数値入力画面

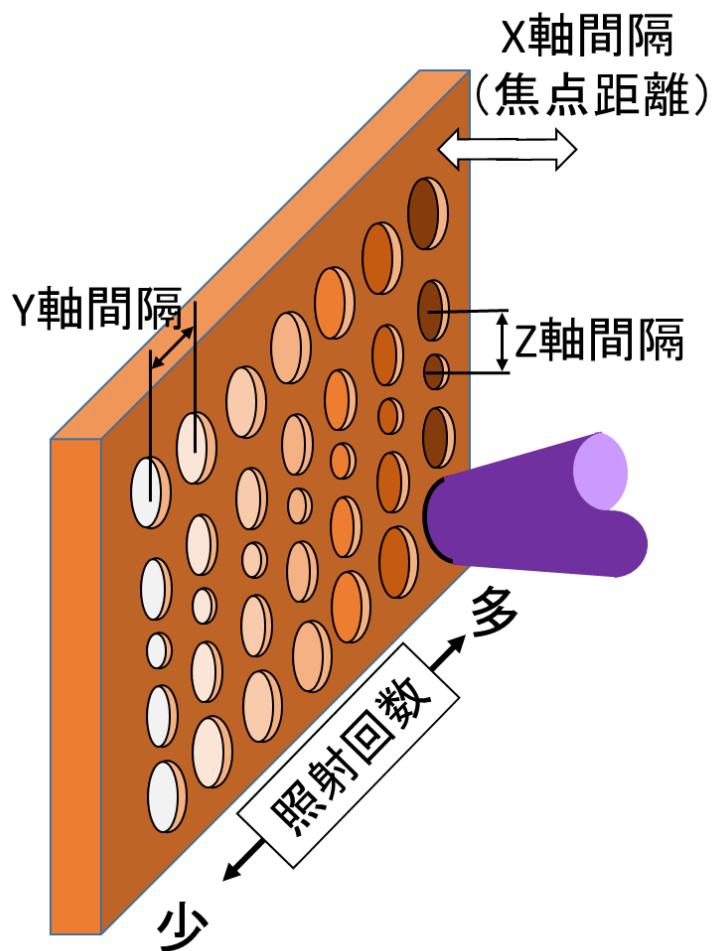


図 3-3 焦点探索実験の加工形状

3.3 加工穴の観察結果と最小集光径の理論値

3.3.1 加工穴の観察結果

今回の実験結果を図 3-5 に示す. また, 観察機器は穴の形状を見るために FESEM(電界放射型走査電子顕微鏡)を, 穴の深さを見るために AFM(原子間力顕微鏡)を用いた. 図 3-5, A に透過率 30%, 照射回数 16 回と 128 回の時の図を示す. 図 3-5A よりエネルギー密度が高くなると特に中心が深い穴にはなるが, 穴の大きさにはあまり変化は見られない. 図 3-5, B には照射回数が 4 回で, 透過率 25%の時の深さと, 透過率 100%の時の深さを示す. これよりエネルギー照射密度と掘れた深さは完全には比例していないことが分かる. これは, 穴が深くなるにつれ側面にエネルギーが取られているからと考えられる. また, 最小集光径の実測値 d_m は半値幅で約 $4\mu\text{m}$ である.

3.3.2 最小集光径の理論値と考察

次に最小集光径の理論値 d を求める. 最小集光径は幾何光学 (Geometric optics) によるレンズの式^[2]と波動光学 (Wave optics) による回折限界^{[3],[4]}から求めることができる. レンズの式から幾何光学による最小集光径 d_g は

$$d_g = \frac{Da}{b} \quad (3-1)$$

で表すことが出来る. この時集光径を d , ピンホールの径 $50\mu\text{m}$ を D , 集光レンズから加工物表面上までの距離 52mm を a , ピンホールから集光レンズまでの距離 1000mm を b とする. また, 回折限界から波動光学による最小集光径 d_w は

$$d_w = 1.22 \frac{\lambda a}{A} \quad (3-2)$$

で表すことができる. 有効口径 5mm を A , 波長 266nm を λ とする.

計算結果から $d_g=2.6\mu\text{m}$, $d_w=3.4\mu\text{m}$ となった. 理論値 d は d_w よりも小さくなることはなく, かつ限りなく近い値になることが分かった. 実際の実測値 d_m は約 $4\mu\text{m}$ だったので d_w から約 18%しか誤差がなく実験結果はほぼ限界の最小集光径まで集光することができたと言える.

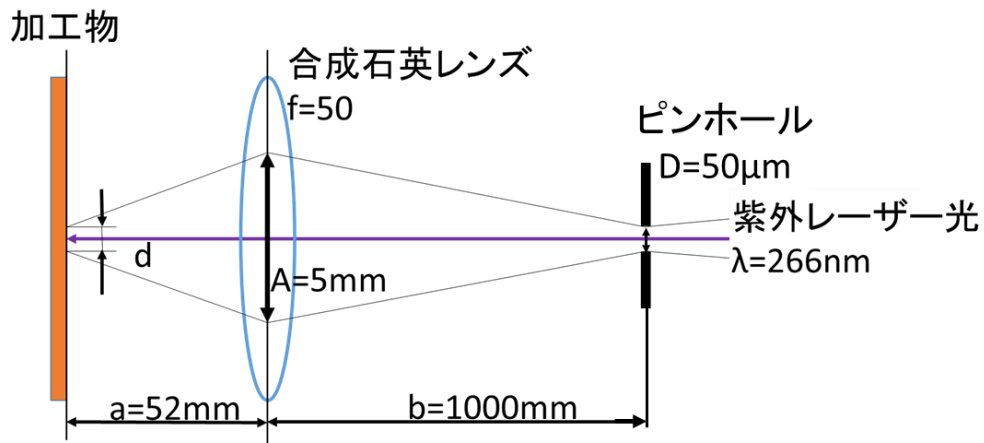
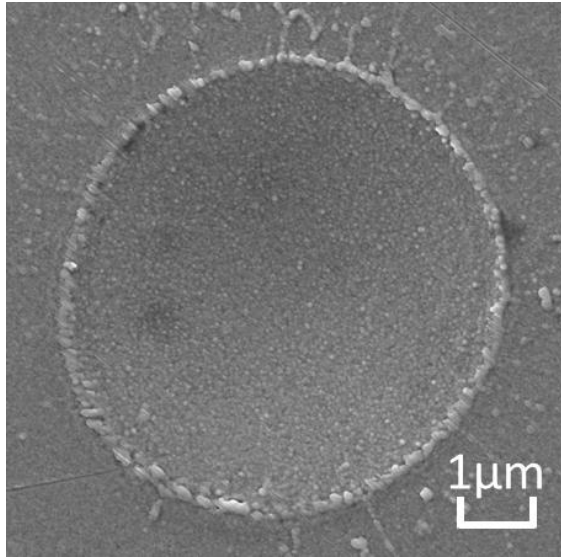
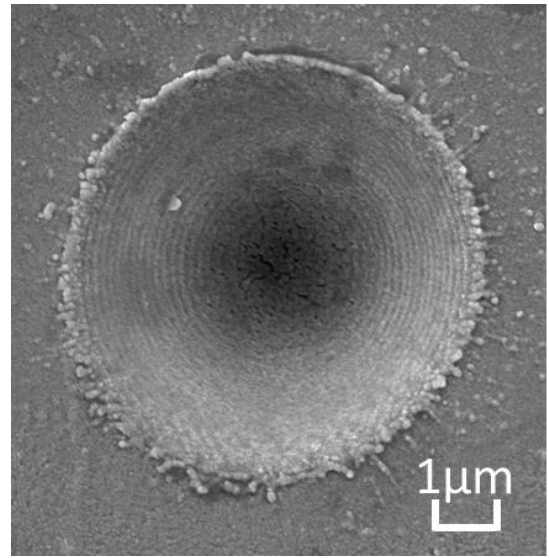


図 3-4 像転送方式

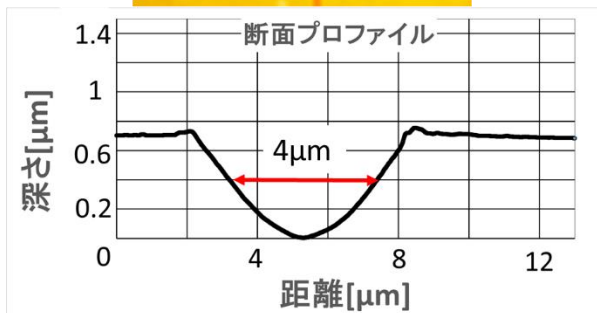
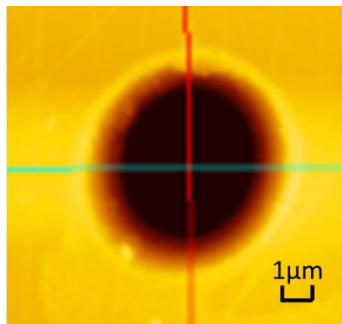


0.8 μ J × 2shot

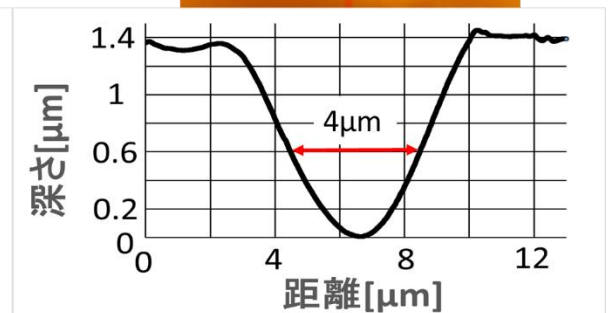
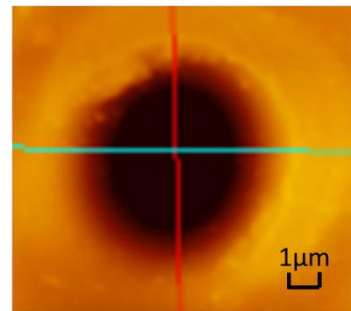


0.8 μ J × 16shot

A



0.63 μ J × 4shot



2.5 μ J × 4shot

B

図 3-5 加工穴の観察結果

(A: 電界放射型走査電子顕微鏡による観察結果, B: 原子間力顕微鏡による観察結果)

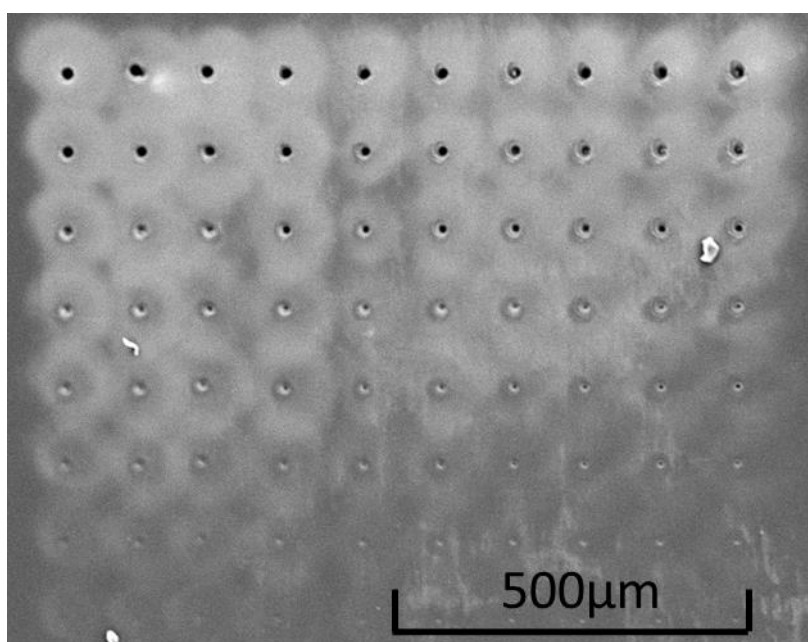


図 3-6 照射回数及び焦点位置を変えた加工穴の変化

3.4 紫外レーザー光のエネルギー照射密度を求める計算

紫外レーザー光のエネルギー E (nJ)は

$$E = \frac{T}{QR} \times V \quad (3-3)$$

で求められる。ここで、エネルギーモニタのSiフォトダイオード(浜松ホトニクス製, S1226-8BQ)の紫外光の受光感度 0.12 (A/W)を Q , インターフェイスの入力インピーダンス 144 (k Ω)を R , オシロスコープから検出された波形の半値幅であるパルス幅 400 (μ s)を T , エネルギーモニタの測定電圧を V とする。図 3-7 にエネルギーモニタによる電圧信号の取得システムを示す。この時、オシロスコープを繋ぐと入力インピーダンスが少し下がるので、オシロスコープは信号をモニターしたい時だけ繋ぐようにしている。

また、(3-3)式から求められたエネルギーからエネルギー照射密度 e (J/cm²)を求める式は

$$e = \frac{E \times 10^{-9}}{(d_m \times 10^{-4})^2} \quad (3-4)$$

で表すことが出来る。ここで、加工穴の径を d_m (μ m)とする。

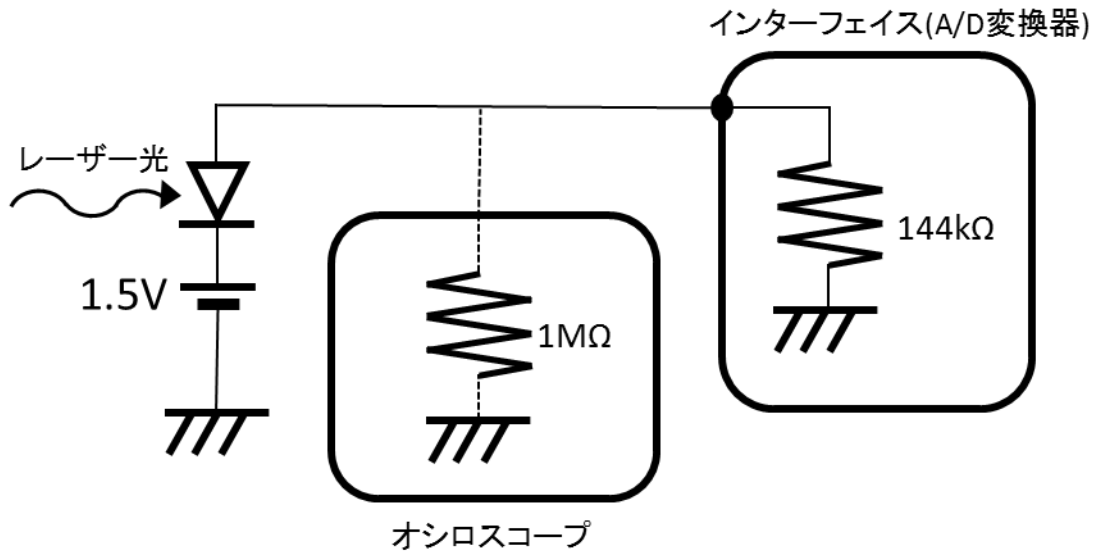


図 3-7 エネルギーモニタによる電圧信号取得システム

3.5 エネルギー照射密度と深さの関係

(3-4)式から求めたエネルギー照射密度と、AFMによる観察結果から求めた加工穴の深さの関係を図 3-8 に示す。これは、過去のデータ^[5]と比べた時に近い値になったことから今回のデータに大きな誤差は無いと言える。

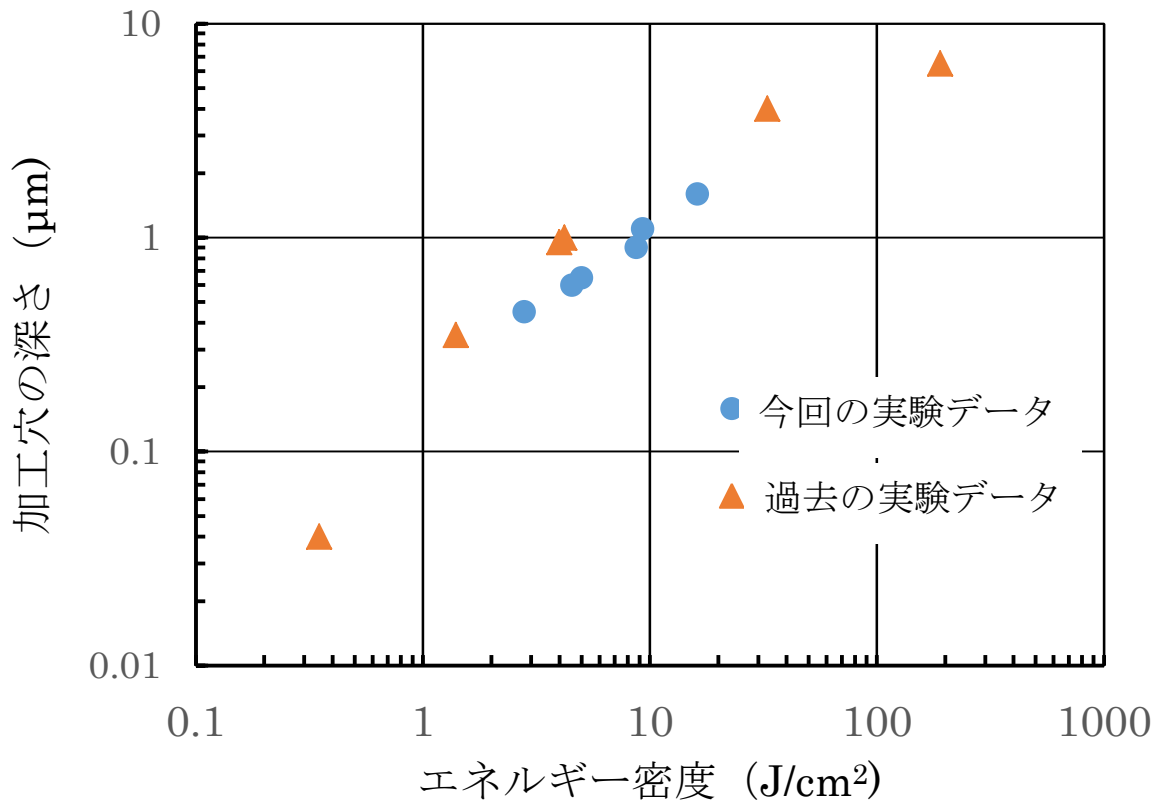


図 3-8 エネルギー照射密度と加工穴の深さの関係

第 4 章

テフロンの撥水性表面構造 の製作

4.1 実験材料

今回の実験では、テフロンシート^[6]（フッ素樹脂 PTFE 厚み 0.2[mm]）を使用する。

テフロンとは、米国デュポン社の商品名で、1938年にロイ・プランケットによって発見され1946年に製品となった。PTFEはフッ素原子と炭素原子のみからな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。また、テフロンは現在までに発見されている物質の中で、最も摩擦係数の小さい物質であることも特徴の一つである。表1にテフロン（PTFE）の一般特性を示す。

表1 テフロン（PTFE）の一般特性

比重	2.14～2.20
融点(°C)	327
引張強さ(MPa)	13.7～34.3
引張弾性率(MPa)	392
圧縮強さ(MPa)	11.8
伸び(%)	200～400
比熱(kJ・kg ⁻¹ ・K ⁻¹)	1.04
耐熱性(°C)	260

4.2 撥水加工表面プログラム

加工を行う際の三軸加工台の動作とレーザーの照射を制御する表面配列加工プログラムは集光実験で用いたプログラムを少し変更して使用した。そのプログラムの数値入力画面を図4-1に示す。

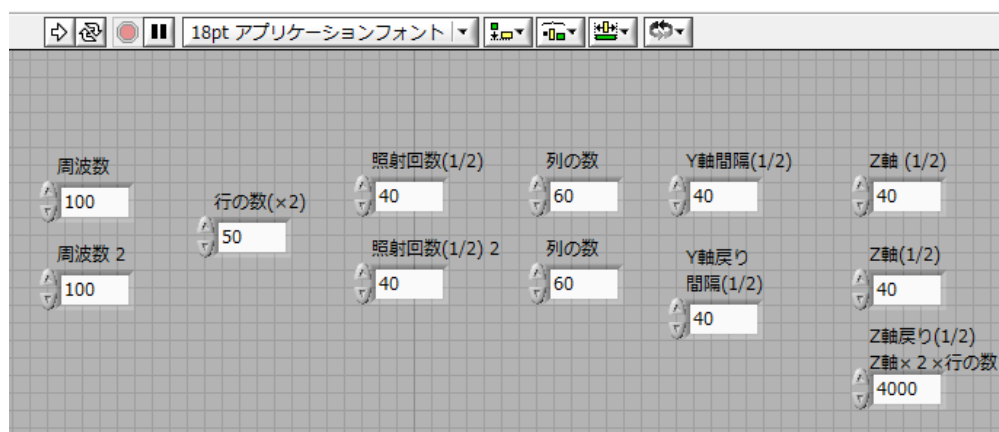


図 4-1 撥水加工表面プログラムの数値入力画面

4.3 加工表面の観察結果

図 4-2 に未加工のテフロン表面を示す. 図 4-3 では加工表面を鉄で押さえることにより綿を除去した. 綿は無くなるというよりは押さえられて潰されたという感じで未加工の部分と同じようになった. また, 図 4-4, 4-5 はテフロン表面加工を行い, イオンスパッタでコーティングを行い SEM で観察を行った時の図を示す. 加工条件はレーザー出力約 1.8mJ, 照射回数 1 回~10 回, 穴の間隔は $15\mu\text{m}$ ~ $25\mu\text{m}$, ピンホールなしと $100\mu\text{m}$ ピンホールである.

それぞれの観察結果からミクロン状の綿のようなものが出ていることが確認できる. 図 4-4 から照射回数 1 回から 2 回では綿の大きさに変化を感じるが, 2 回から 10 回では綿の大きさにあまり変化がなく照射しすぎたことにより綿が少し倒れたように感じた. 図 4-5 からは穴の間隔で綿の細かさに変化があることが分かった.

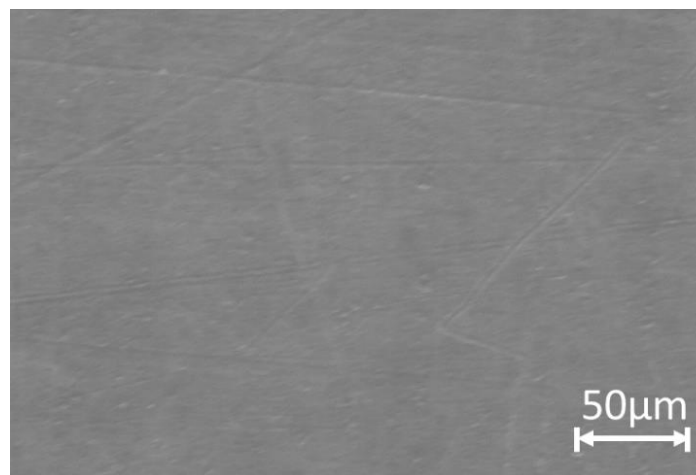


図 4-2 未加工時のテフロン表面

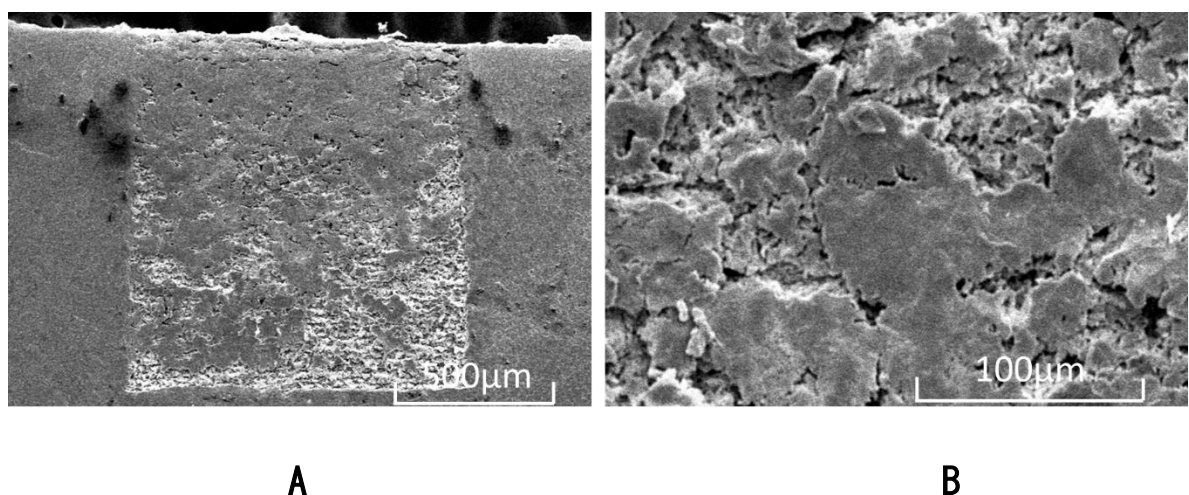
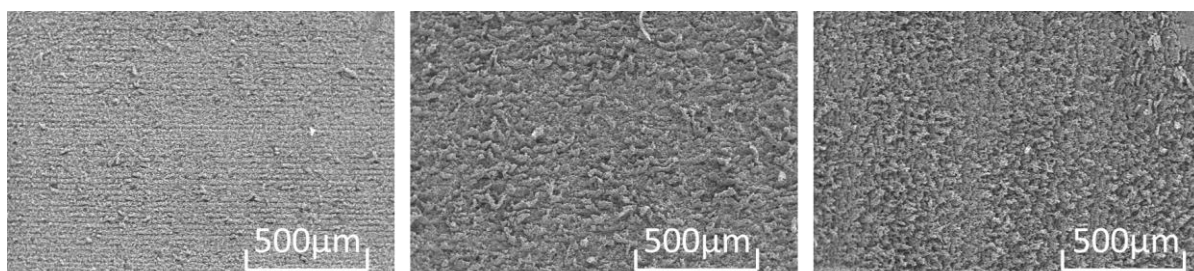
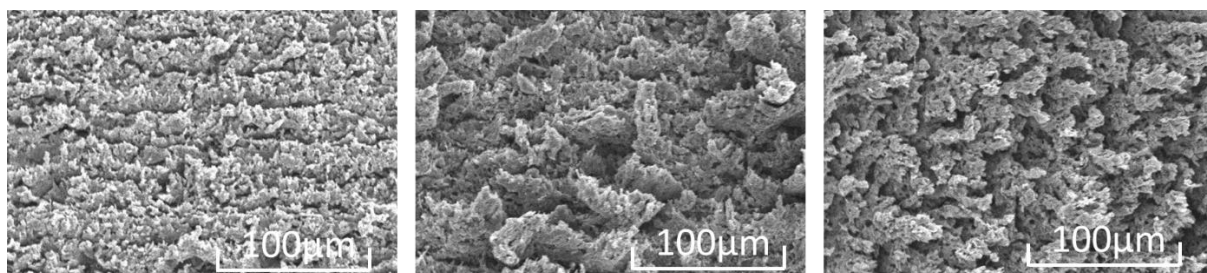


図 4-3 ミクロ状の綿を押しつぶした表面 (A:倍率 70 倍, エネルギー 100%, 照射回数は 2 回, ピッチ $20\mu\text{m}$. B:倍率 500 倍, エネルギー 100%, 照射回数は 2 回, ピッチ $20\mu\text{m}$)

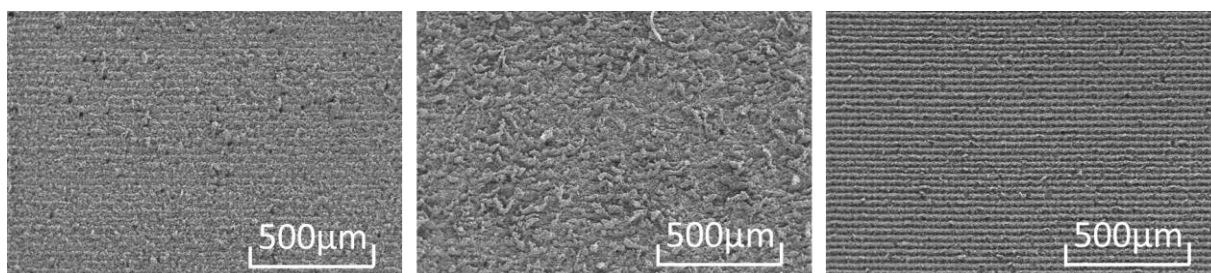


A

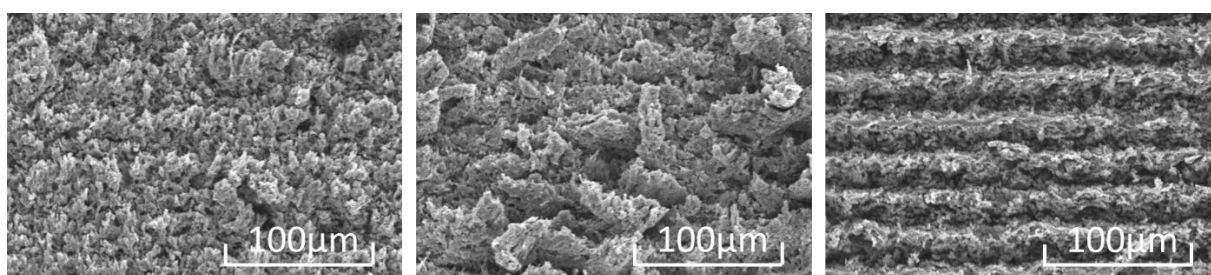


B

図 4-4 照射回数変更時(左から 1 回, 2 回, 5 回)の撥水加工表面 (A:倍率 80 倍, エネルギー100%, ピッチ $20\ \mu\text{m}$. B:倍率 500 倍, エネルギー100%, ピッチ $20\ \mu\text{m}$)



A



B

図 4-5 穴の間隔変更時(左から $15\ \mu\text{m}$, $20\ \mu\text{m}$, $25\ \mu\text{m}$)の撥水表面加工 (A:倍率 80 倍, エネルギー100%, 照射回数は 2 回. B:倍率 500 倍, エネルギー100%, 照射回数は 2 回)

4.4 テフロンの接触角の測定方法

4.4.1 液滴法

テフロンに撥水表面加工を行った面に水滴を落とし、撥水特性を調べた。表面加工したテフロンの撥水特性を調べるために、液滴法と三点の座標による接線法という二つの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、固体表面との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。図4-6に接触角の概念を示す。接触角を求めるための式は

$$\theta = 2 \tan^{-1} \left(\frac{h}{r} \right) \quad (4-1)$$

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。

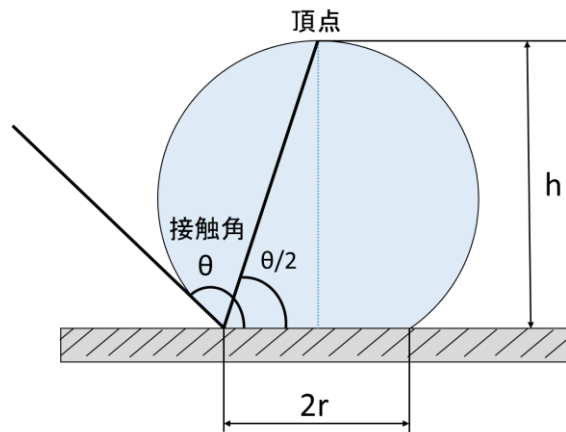


図 4-6 水滴高さ と 接触面の径 による接触角 θ

4.4.2 三点の座標による接線法

3 点の座標による接線法で接触角の計算を以下に示す。

図 4-7 より水滴の輪郭をプロットした 3 点の座標を (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , (x_3, y_3) , 中心を (X, Y) 半径を a とする。また円の公式

$$(x - X)^2 + (y - Y)^2 = a^2 \text{ より} \quad (4-2)$$

より、座標 (x_1, y_1) の時

$$(x_1 - X)^2 + (y_1 - Y)^2 = a^2 \quad (4-3)$$

となり (x_2, y_2) の時

$$(x_2 - X)^2 + (y_2 - Y)^2 = a^2 \quad (4-4)$$

となる. また, (x_3, y_3) の時

$$(x_3 - X)^2 + (y_3 - Y)^2 = a^2 \quad (4-5)$$

となる. a^2 が共通なため展開すると (4-3), (4-4) より

$$x_1^2 - x_2^2 - 2X(x_1 - x_2) + y_1^2 - y_2^2 - 2Y(y_1 - y_2) = 0 \quad (4-6)$$

となり (4-4), (4-5) より

$$x_2^2 - x_3^2 - 2X(x_2 - x_3) + y_2^2 - y_3^2 - 2Y(y_2 - y_3) = 0 \quad (4-7)$$

となる.

(4-6), (4-7) より mathematica を用いて X, Y を求めると

$$X = -\frac{(x_1^2 - x_2^2 + y_1^2 - y_2^2)(y_2 - y_3) - (y_1 - y_2)(x_2^2 - x_3^2 + y_2^2 - y_3^2)}{2(y_2x_1 - y_3x_1 - y_1x_2 + y_3x_2 + y_1x_3 - y_2x_3)} \quad (4-8)$$

$$Y = -\frac{(y_1^2 - y_2^2 + x_1^2 - x_2^2)(x_2 - x_3) - (x_1 - x_2)(y_2^2 - y_3^2 + x_2^2 - x_3^2)}{2(x_2y_1 - x_3y_1 - x_1y_2 + x_3y_2 + x_1y_3 - x_2y_3)} \quad (4-9)$$

となる. これにより中心 (X, Y) の値が求まるので (4-2) に代入すると

$$a^2 = (x_1 - X)^2 + (y_1 - Y)^2 \quad (4-10)$$

となり, $a > 0$ より

$$a = \sqrt{(x_1 - X)^2 + (y_1 - Y)^2} \quad (4-11)$$

となる. よってこれから, 半径 a が求まる.

次にテフロンと水滴の接する y 座標をペイントで読み取る.

(4-3) を用いて x を求める式に書き換えると

$$x = \sqrt{a^2 - (y - y_1)^2} + x_1$$

となり, これによりテフロンと水滴の接する座標 (x, y) が分かる.

同様に (4-3) を用いて y を求める式に書き換えると

$$y = \sqrt{a^2 - (x - x_1)^2} + y_1$$

となり, これを微分することで直線の式の傾きを求める.

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{-2(x-x_1)}{2\sqrt{a^2-(x-x_1)^2}} \quad (4-12)$$

傾き= $\tan \theta$ となるので

$$\theta = \tan^{-1} \left(-\frac{-2(x-x_1)}{2\sqrt{a^2-(x-x_1)^2}} \right) \quad (4-13)$$

(4-13)で求められた角度(θ)は 180 度から接触角を引いた値になる.つまり, 180 度から θ を引くことで接触角を求めることが出来る.

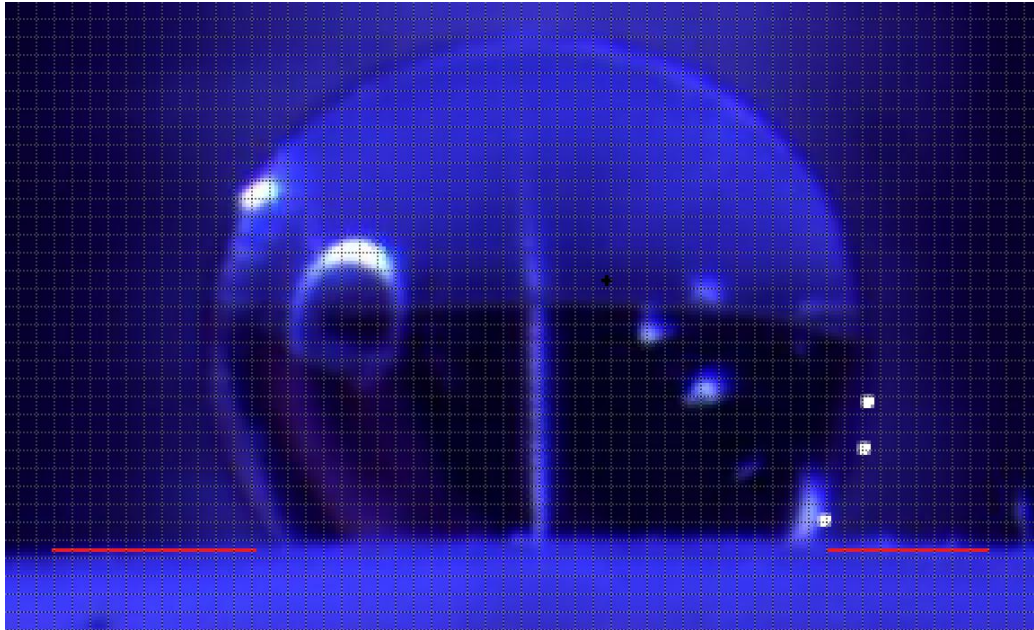


図 4-7 三点の座標による測定 (照射回数 2 回 ピッチ 20 μ m)

4.5 テフロンの接触角の測定結果と考察

先ほどの 2 つの測定法から, 今回は液滴法を用いて測定を行った. 理由として, マイクロピペットを用いることで水滴の量を 1 μ L と固定できるので, 水滴を真円と仮定でき誤差が少ないからである.^[7]

テフロンの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測定を行った. 水滴の高さと半径は顕微鏡の機能を使い測定した. また, 水滴にはエレクトロニクス研究所にある純水製造機の純水を用いた. 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, 正確な測定が出来ない恐れがあったためである.

図 4-8 照射回数と接触角の関係グラフと表 2 にその表を, 図 4-9 にピッチと接触角の関係グラフと表 3 にその表を示す. この結果を見ても分かるように加工条件照射回数 2 回, ピッチ 20 μ m の時に一番撥水性が高くなり, 表面加工を行っていない時と比べて約 50 度接触角が大き

くなり撥水性が高くなった. これは過去の研究^{[8], [9]}とほぼ一緒の結果となった.

また, 図 4-10 に実際に水滴を付着した図を, 図 4-11 に加工を行っていない面に水滴を付着した図を示す.

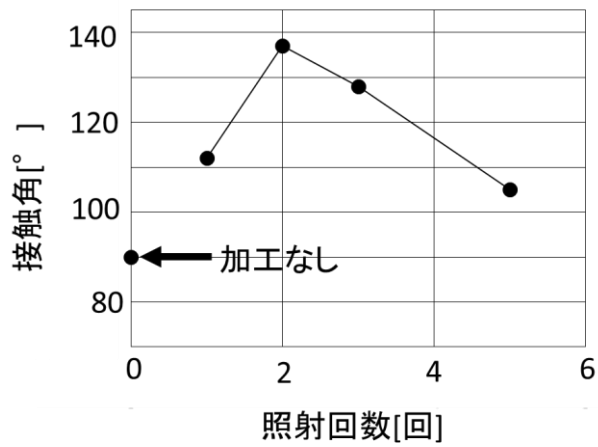


図 4-8 照射回数と接触角の関係

表 2 照射回数と接触角の関係の値

接触角	照射回数	ピッチ
90	加工なし	加工なし
112	1	20
137	2	20
128	3	20
105	5	20

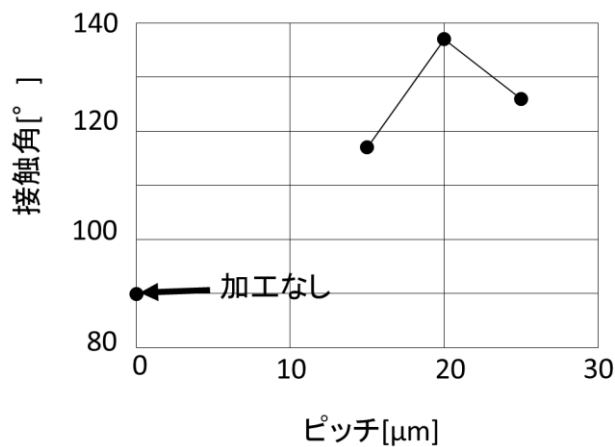
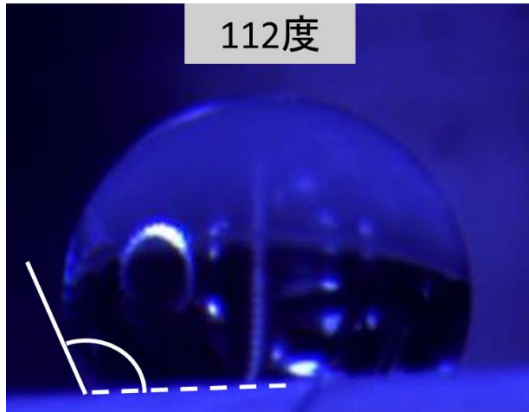


図 4-9 ピッチと接触角の関係

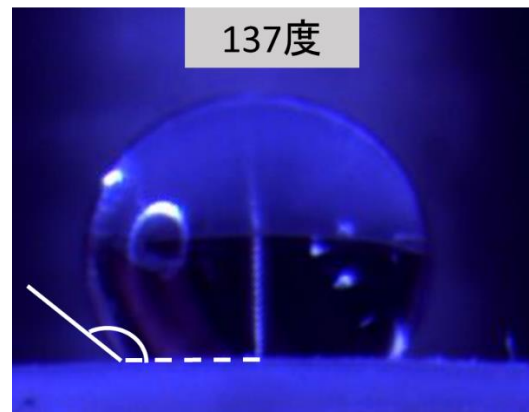
表 3 ピッチと接触角の関係の値

接触角	照射回数	ピッチ
90	加工なし	加工なし
112	1	20
137	2	20
128	3	20
105	5	20

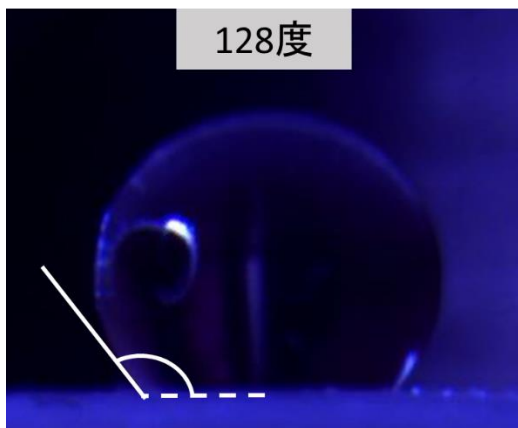
117	2	15
137	2	20
126	2	25



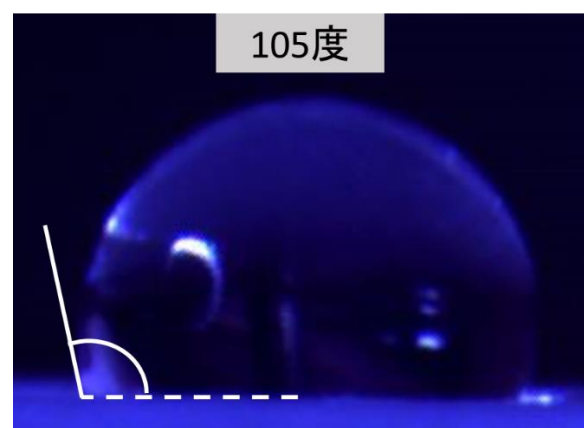
(1 回, 20 μ m)



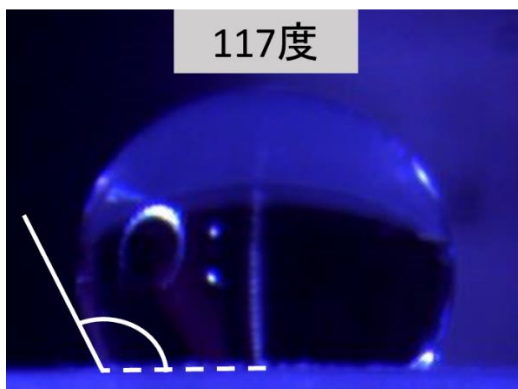
(2 回, 20 μ m)



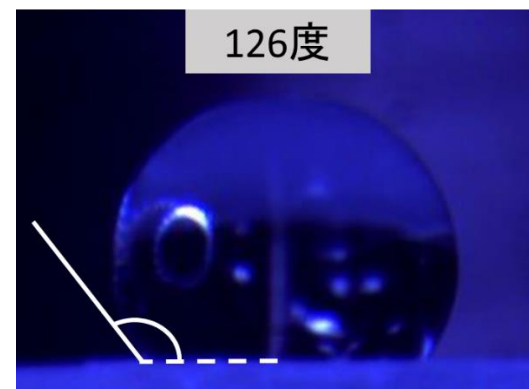
(3 回, 20 μ m)



(5 回, 20 μ m)



(2 回, 15 μ m)



(2 回, 25 μ m)

図 4-10 加工条件の異なる撥水表面に付着した水滴(図中の括弧内は照射回数とピッチ長)

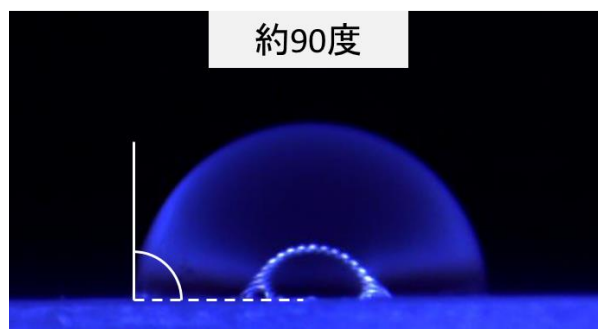


図 4-11 加工を行っていない面に付着した水滴

4.6 テフロン以外での加工と考察

テフロン以外での接触角の測定として、ポリイミド樹脂とアクリルと塩ビを用いて撥水加工を行い接触角の測定を行った。加工条件はテフロンを加工した際が一番撥水性が高かった、レーザー出力約 1.8mJ, 照射回数 2 回, ピッチは 20 μ m, ピンホールなしで加工を行った。図 4-12. 4-13. 4-14 にそれぞれの加工結果と水滴を垂らした時の図を示す。

結果はどれも、加工を行った面よりも加工前の面の方が撥水性が高いことが分かった。つまり、加工を行うことにより撥水性ではなく、親水性が高くなっていた。加工結果を見るとテフロンのようにマイクロ状の綿は出ておらず、穴が開いているためそこに水が染み込んで撥水性が悪くなったと考えられる。

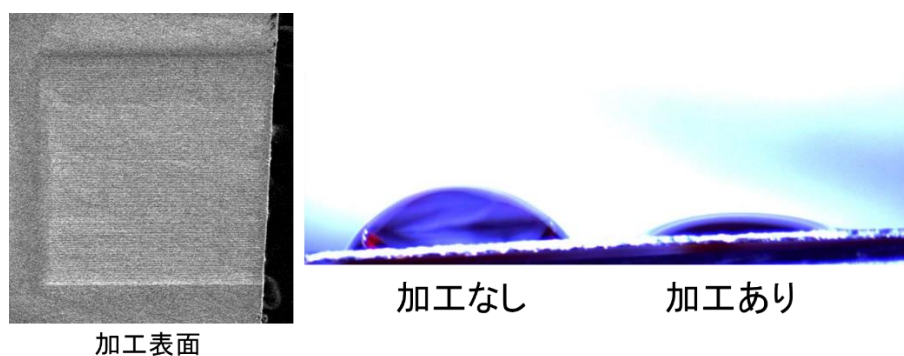


図 4-12 ポリイミド樹脂の加工表面と水滴を落とした時の様子

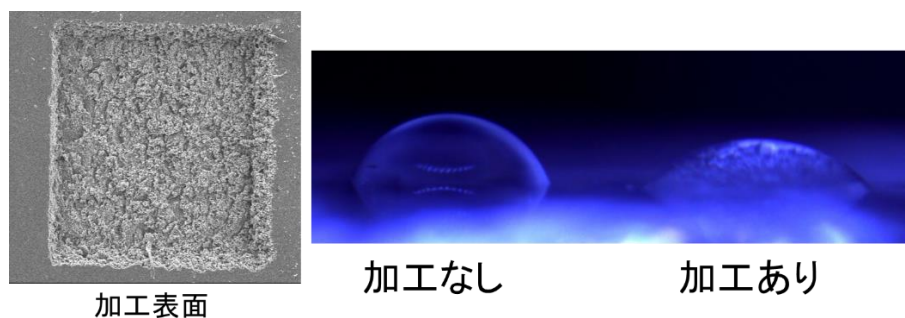


図 4-13 アクリルの加工表面と水滴を落とした時の様子

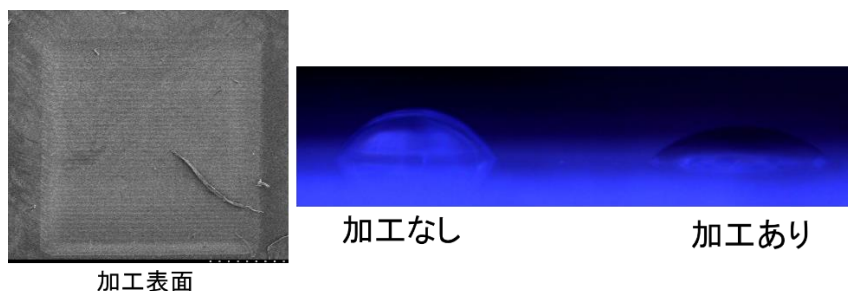


図 4-14 塩ビの加工表面と水滴を落とした時の様子

4.7 テフロンの撥水表面加工による『マイクロフラットプレート』

テフロンの撥水表面加工によるマイクロフラットプレートとは、テフロンの未加工部分の周りを撥水加工表面で囲うことで中に垂らした水滴が傾けてもその場からこぼれないというものである。図 4-15 は 3mm 角～5mm 角のマイクロフラットプレートと、図 4-16(a) は水滴を垂らして 90 度傾けた時の図である。何も加工していない部分だと約 50 度傾けただけで水滴は滑り落ちるが、マイクロフラットプレートだと何度傾けてもその場に留まることが出来る。これは普通のマイクロプレートよりも安価であり、使い捨てとして利用もでき、様々なパターンニングが作れるなどの利点がある。図 4-16(b) にマイクロフラットプレートの原理を示す。

図 4-17 は 200 μm 角と 400 μm 角の大きさのマイクロフラットプレートである。これは注射針やマイクロピペットでは表面張力により水滴を付けることが出来ないので、加湿器を利用して水滴を付着させた。図 4-18 は水滴が付着している時の図である。加湿器を使うことで全体に水滴が付着しており、加工部分にも水滴が残っている。振動を与えることで加工部分の水滴は滑り、図 4-18(B) の様に無くなっている。しかし、水滴が小さい為蒸発し未加工部分の水滴が少なくなっている。また、図 4-19 は縦 2mm、横 4mm の長方形型のマイクロフラットプレートである。

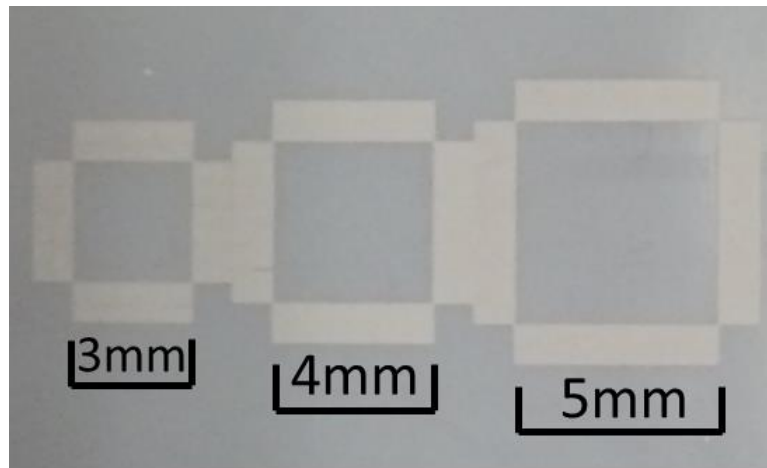


図 4-15 マイクロフラットプレートの表面

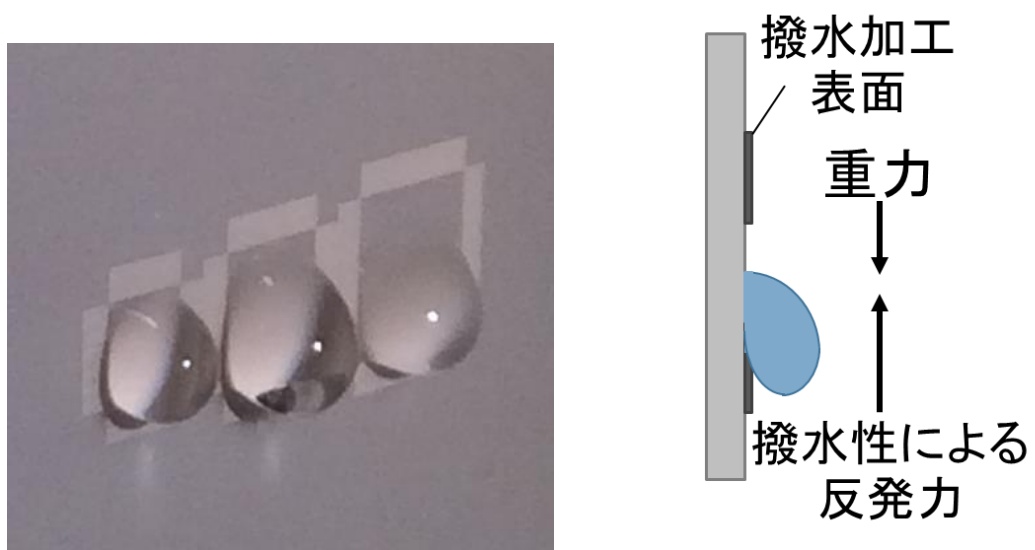


図 4-16 (a) マイクロフラットプレートを 90 度傾けた状態
(b) マイクロフラットプレートの原理

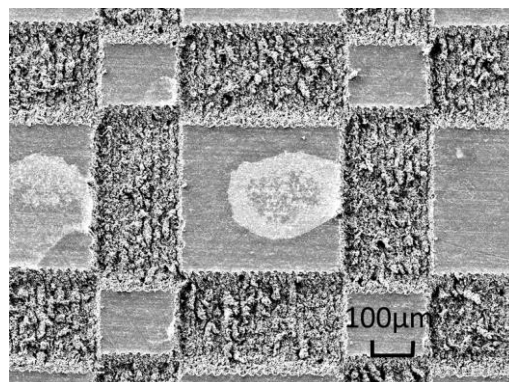
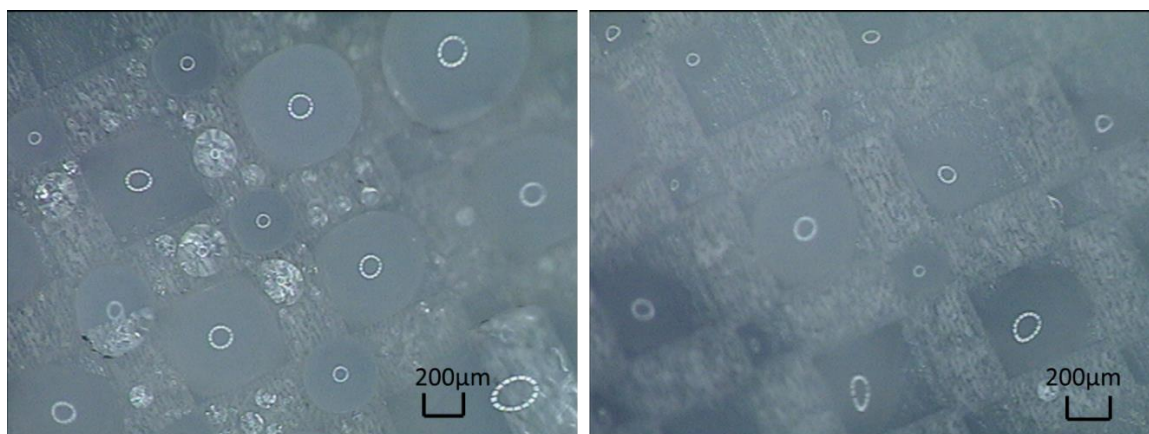


図 4-17 200 μm 角と 400 μm 角のマイクロフラットプレートの加工面



A

B

図 4-18 200 μm 角と 400 μm 角のマイクロフラットプレートに加湿器を使い水滴を付着させた時の様子(A:水滴をつけてすぐの様子, B:振動させた後の様子)

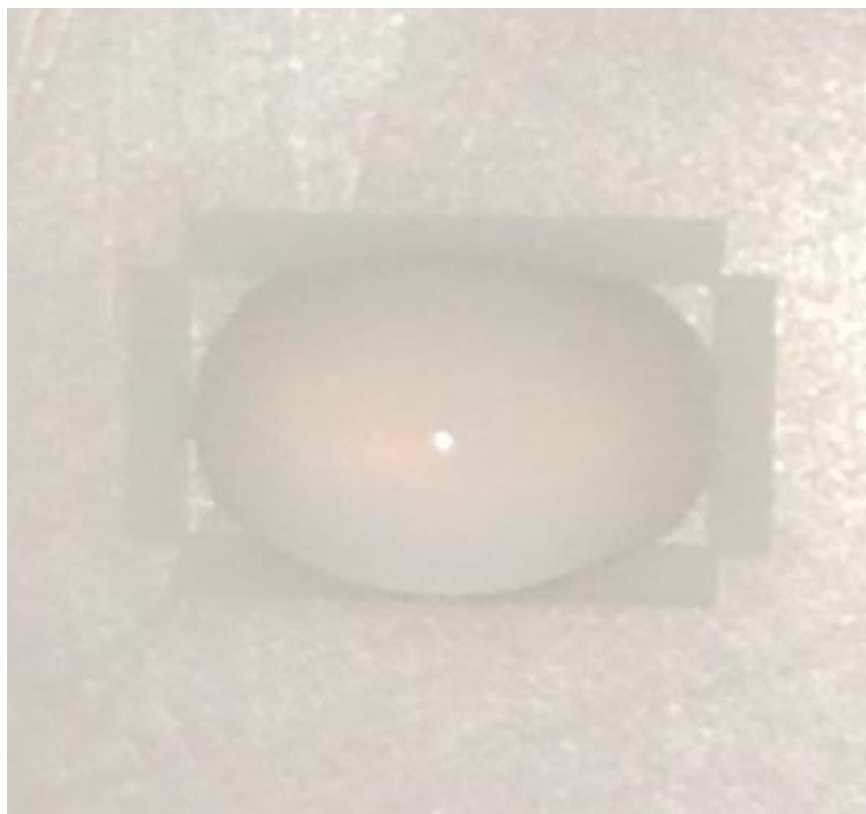


図 4-19 長方形型 (縦 2mm, 横 4mm) のマイクロフラットプレート

第 5 章

結言

- [1] 集光実験, テフロン撥水表面加工実験を行うために, レーザー・三軸加工台制御装置の開発を行った.
- [2] レーザー・三軸加工台制御装置を用いて集光実験を行い, ほぼ限界の最小集光径まで集光することができた.
- [3] レーザー光のエネルギーを測定し, 照射エネルギー密度と加工穴の深さの関係を調べ, ほぼ過去のデータと一致する結果となった.
- [4] テフロンをレーザー加工することで撥水性を上げ, 最大約 50 度の接触角を向上させた.
- [5] テフロン撥水表面加工を活かし, 『マイクロフラットプレート』の考案・作成を行った.

参考文献

- [1] ポリイミド 東レ・デュポン株式会社 <http://www.td-net.co.jp/kapton/sort/>
- [2] 吉井 啓太:紫外パルスレーザーによる微小立体加工法に関する研究,福岡工業大学大学院修士論文(2002)
- [3] 回折限界 <http://www.cybernet.co.jp/optical/course/word/k04.html>
- [4] 吉原 邦夫:物理光学,共立出版株式会社
- [5] 河村 良行,豊田 浩一:レーザー研究,23巻8号(1995)
- [6] テフロン パッキングランド <https://www.packing.co.jp/PTFE/>
- [7] T. Onda, S. Shibuichi, N. Satoh , and K. Tsujii :Super-Water-Repellent Fractal Surfaces, Langmuir Vol.12, NUMBER 9 (1996)
- [8] 中藤 拓也 :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,福岡工業大学卒業論文(2007)
- [9] 山村 裕臣 :レーザーマイクロ加工によるテフロン表面構造の創成とその高性能化,岡工業大学卒業論文(2009)
- [10]SEM を使いこなそう http://www.mm.kyushu-u.ac.jp/lab_02/Documents/SEM_basic.pdf

謝辞

本研究ならびに論文の作成に際し数々のご指導, ご助言, 多大なご協力を頂いた河村良行教授に深く感謝の意を示します. また, 院生の鐘ヶ江力さん, 及び研究室の皆様に深く感謝の意を示します.

実験装置の製作のおり, ご指導ご協力を頂いた工作センターの方々及び, ものづくりセンターの方々に感謝の意を示します.

また, SEM や AFM 等の観察機器をお貸しくいただきましたエレクトロニクス研究所の方々に感謝の意を示します.

最後に本研究に対して適切なお助言を頂いた皆様に深く感謝の意を示します.

付録

付録 1 観察装置

付録 2 レーザー関係の専門用語

付録3 LabVIEW のプログラム

付録4 三軸加工台と試料台の設計図

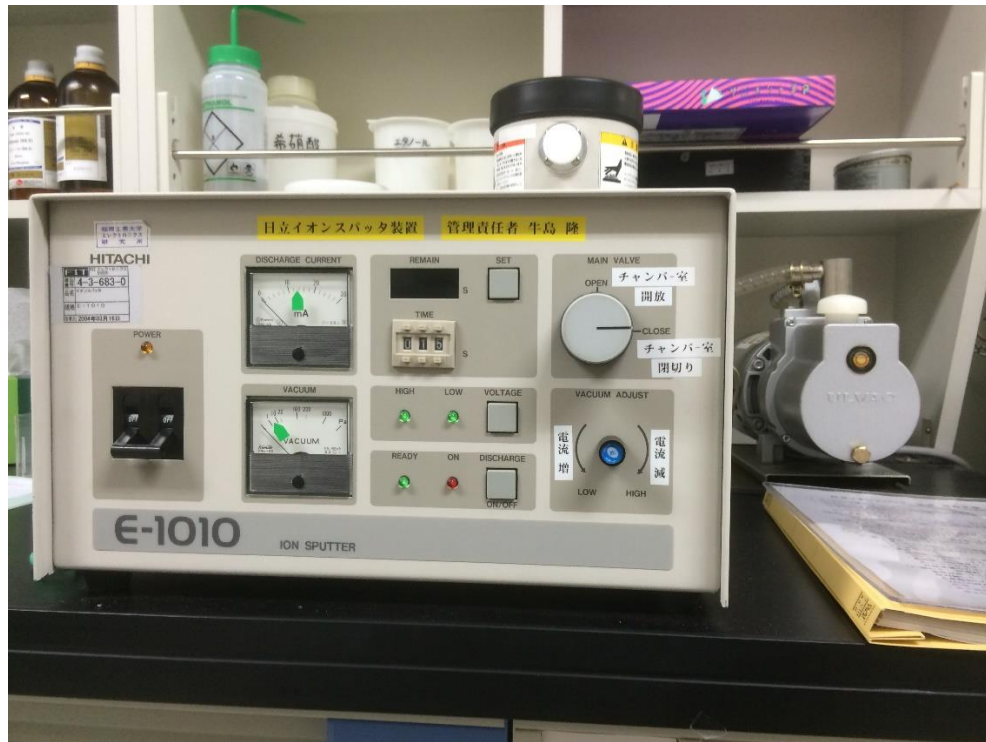
観察装置

- ・日立イオンスパッタ装置

イオンスパッタ装置は、導電性のない試料を走査型電子顕微鏡で観察する場合、試料表面の帯電による像障害を防止するため 2~15nm 程度金属コーティングすることを目的としている。

特徴として、リング電極とフローティング試料ステージの採用で試料損傷の少ないコーティングができ、放電初期のイオン衝撃による試料の損傷を軽減することができる。また、コーティング残時間をデジタル数字で表現するので見やすい。

ポリイミド樹脂、テフロンに加工を行い、両方とも導電性のない試料のため金属コーティング(白金 Pt)を行うことで走査型電子顕微鏡 (SEM)、電界放出形走査電子顕微鏡 (FESEM) で観察を行った。



日立イオンスパッタ装置 E-1010

・ 走査型電子顕微鏡(SEM)

走査型電子顕微鏡(SEM)は, 5kv~30kv で加速された電子線を光源として二次電子像及び反射電子像を 50 倍から 50,000 倍の倍率で観測ができ, フィラメント電流の調整, 焦点調整, 非点収差調整, ガンアライメント等は自動化されている.

特徴として, 試料台は水平方向の 2 軸について自動位置決めが可能のため試料交換時間が約 2 分と短く, 光学顕微鏡と比較して焦点深度が深いため, 広い範囲にわたってピントの合った立体的な像を得ることが出来る.

ポリイミド樹脂, テフロン, アクリル板, 塩ビ板に加工を行い, 加工穴の集光径, 形状, アブレーション等を監察するために用いた.



日立走査電子顕微鏡 S-3000N

・原子間力顕微鏡(AFM)

原子間力顕微鏡(AFM)は走査型プローブ顕微鏡(SPM)の一種で試料と探針の原子間に働く力を検出して画像を得ることができ、原子間力はあらゆる物質の間に働くため容易に試料の観察が出来るため探針と試料表面間に流れる STM とは異なり、絶縁性試料の測定にも可能で、電子線を利用する SEM のように誘電性コーティングなどの前処理や装置内の真空をする必要もないため大気中や液体中、または高温～低温など様々な環境で、生体試料などを自然に近い状態で測定出来る。

特徴として、導体、半導体、絶縁体の区別なく測定ができ、測定力が極めて小さいため、ほとんど非破壊で行え、接触モード、タッピングモードがあり、原子分解能で三次元の形状情報を得ることが出来る。

加工穴の深さ、最小集光径等測定するために使用した。接触モードでは AFM の針を使用し、タッピングモードでは DFM の針を使用した。



原子間力顕微鏡(AFM) ステージユニット AFM5200S
プローブステーション AFM5000 II

・電解放出型走査顕微鏡(FESEM)

FESEM は試料表面の形態観察を低倍率から高倍率まで幅広く観察でき, SEM より高倍率での観察が可能で, 表面の凹凸状態や, 組織の分布状態, 結晶粒子の状態等の観察を行うことができる.

特徴として, ナノスケールの凹凸画像の観察を行うことができ, 表面分析, 元素分析, 断面資料炸裂装置 (CP) を用いた断面分析を行うことができる.

加工穴の集光径と側面, テフロンの加工表面の綿の状態の観察に用いた.



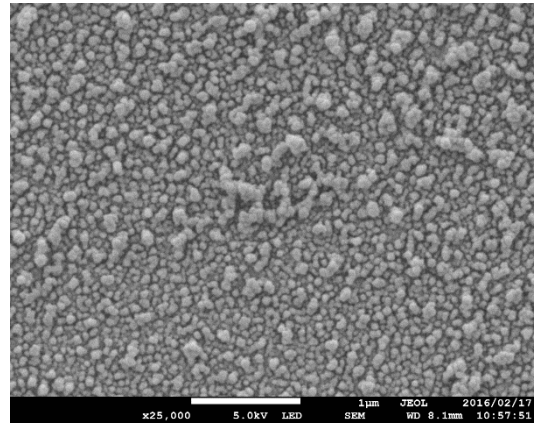
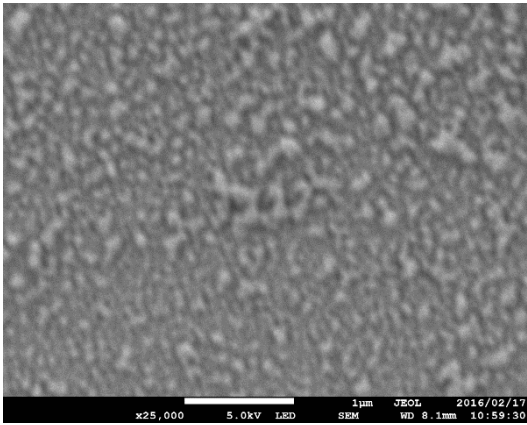
電解放出型走査頭微鏡 JSM-7100F

・ FESEM の非点収差の調整方法

非点収差(スティグマ)調整は, 電子ビームの断面形状を真円にする調整でそれにより, スポット径は小さくなり, より微細な構造まで観察できる.^[10]

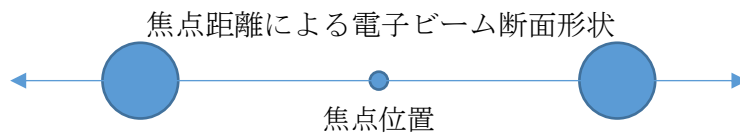
非点収差補正前

非点収差補正後



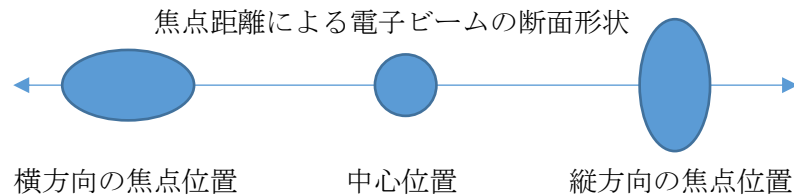
非点収差がない場合

ビーム円周方向から均等にビームが絞られるため焦点位置で小さなスポット径になりシャープな観察像になる。焦点位置からはずれると全方向均等にぼけた像となる。



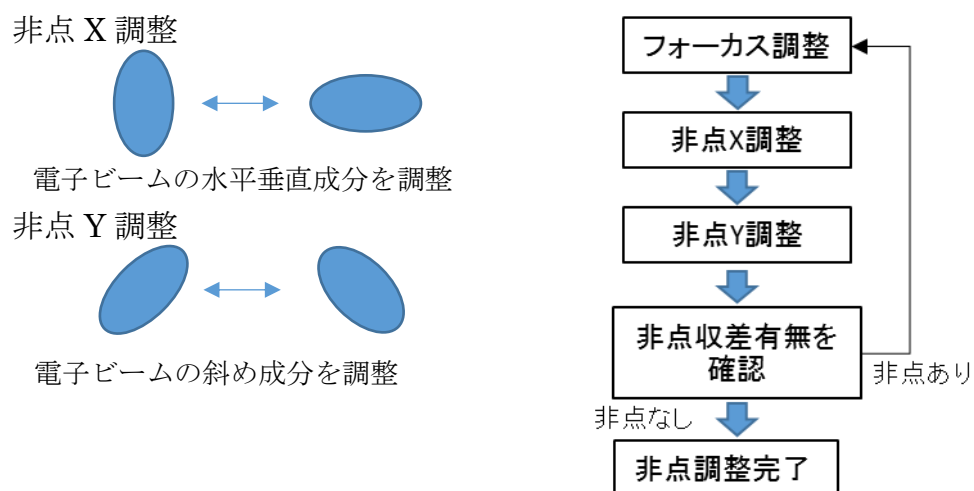
非点収差がある場合

ビームの円周方向により焦点位置が異なるためビームは楕円になる。焦点位置でのスポットも最小とならないため、シャープな観察像にならず焦点位置からはずれるとスポット径は長手方向に流れた像となる。



非点収差の調整手順

非点調整には、観察画面の水平垂直方向の成分を調整する「X」、斜め方向の成分を調整する「Y」がある。



非点調整手順

非点収差の有無は、フォーカスをずらすことで、試料の構造が均等にぼけるか、特定方向に流れたような像になるか確認する。

非点収差は1回では調整しきれないため数回繰り返す。

・マイクロピペット

このマイクロピペットは eppendorf 社の製品であり、 $0.1\mu\text{L}$ ~ $2.5\mu\text{L}$ の水滴の量を量ることが出来る。本研究ではテフロン製の撥水加工表面に水滴を乗せる際に用いた。しかし、表面張力により水滴が離れなかったため、先端に撥水スプレーを塗ることにより水滴を加工表面上に乗せることが出来た。



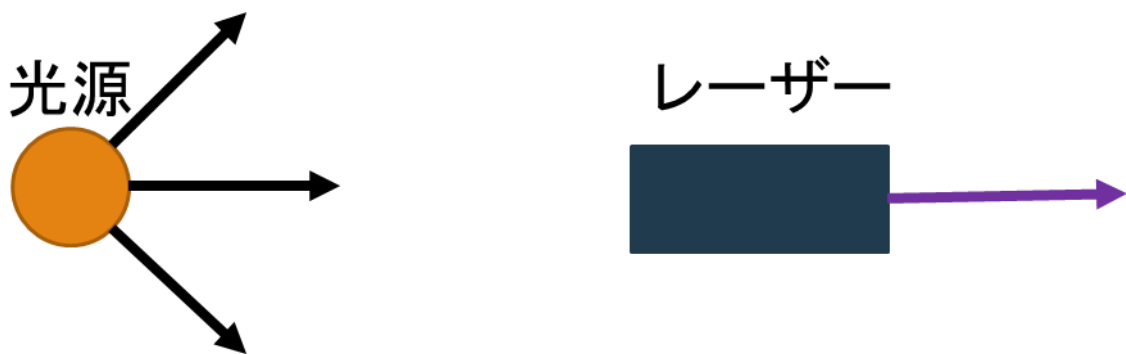
レーザー関係の専門用語

・ KDP 結晶

高いダメージ閾値を持つ。これらは室温 Nd:YAG レーザや第二高調波, 第三高調波, および第四高調波発生に広く使われており, またエレクトロオプティック変調用として広く使われている。また, 透過波長帯が 200~1500nm のため紫外光に対して透過率が良い。

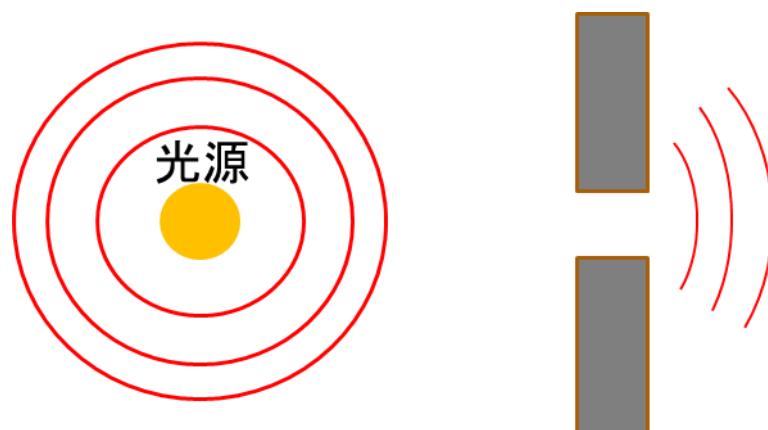
・ 幾何光学

光を粒子として考え, その飛んでいく軌跡を光源として描き表す。光源の一点からはたくさんの粒子があらゆる方向にまっすぐ進み, ある面積を持った光源からは, 光源の各点から全方向に光の粒子が飛んでいくと考える。物体にぶつかって反射したり, 透過したりする場合も線で描き表す。

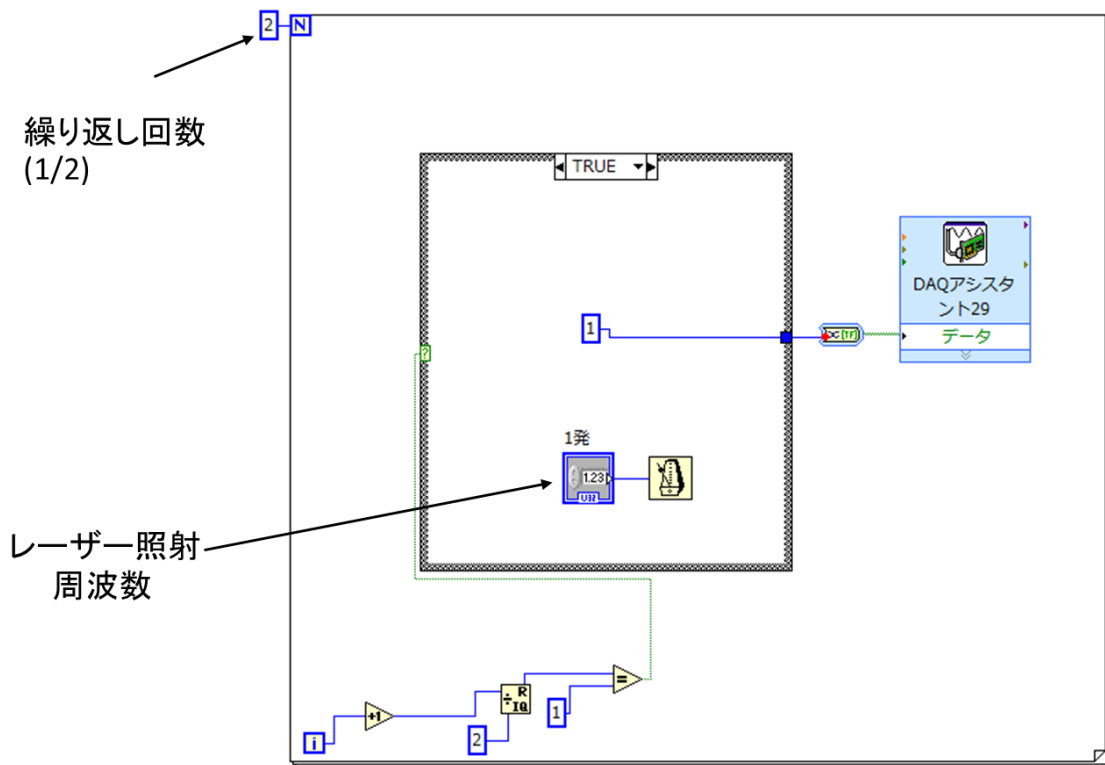


・ 波動光学

光の振る舞いを線で表す幾何光学に対して波動光学は光を波としてあらわす。光波の波面は光線に対して垂直で光線方向に進んでいく。媒質が一様の場合光源から円心円の波として光が広がっていくと考える。光の干渉や回折現象は幾何光学では説明しにくいいため波動光学で説明される。



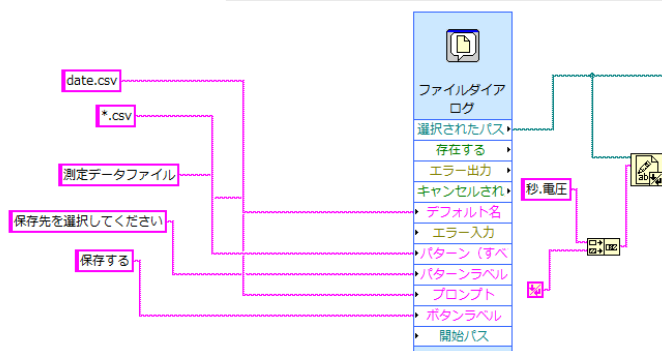
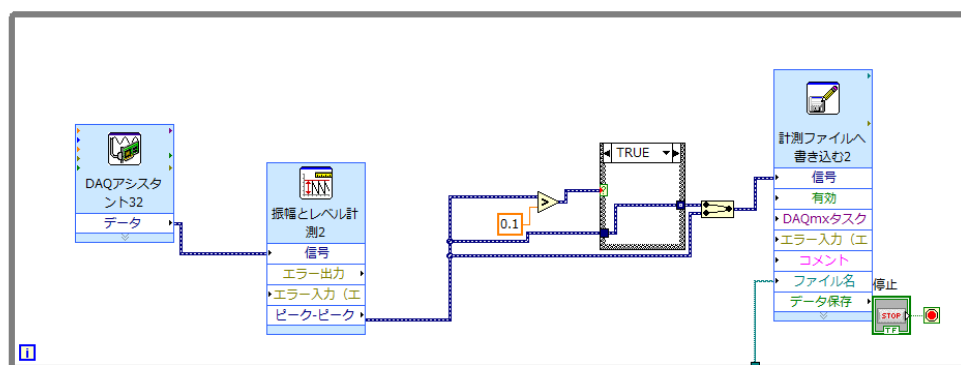
LabVIEW のプログラム



繰り返し回数
(1/2)

レーザー照射
周波数

パルス生成プログラム



データ取得プログラム

簡易リセッタブルステージの図面

