

YAG レーザ加工機による微小径穴加工技術の習得

松永 憲一^{*}，青山 正樹^{**}，立花 一志^{***}
名古屋大学工学部・工学研究科技術部

はじめに

近年、実験装置製作などの機械加工に従事する技術職員においては、装置部品の小型化、高精度化および光技術の進歩などにより、一層の高精度および微細加工技術の向上を求められている。微細加工の中でもとりわけ 0.5mm 以下の微小径穴加工は、現在主にドリル加工によりなされているが非常に高度な加工技術と熟練を必要とする。そのため特に穴深さの深い加工依頼において残念ながら研究者の要望に十分に対応できていない。またそのような加工を行える外注業者はほとんどなくその製作には苦慮するが多い。このようなドリルによる微小径穴加工技術の向上、熟練には長期にわたる加工技術の蓄積および研鑽が必要であり日常の業務においてそれを行う必要がある。またそれとともに研究者の要求に迅速に対応できるように新たな穴あけ加工技術の習得が必要である。そこで本研修では材料系工作室で使用している YAG レーザ加工機を用いてレーザ加工による微小径穴加工技術の習得を行った。レーザ加工は加工速度に優れ、切削が困難な材料においても容易に加工ができることから最近では様々な方面で多く用いられてきている。しかしその反面加工パラメータが非常に多くまた従来われわれが携わってきた機械加工とは違い感覚的に加工現象がわかりにくく、精度および品質の高い微小径穴加工を実現するのは容易ではない。本研修ではレーザ加工において研究者のニーズに迅速に対応が可能となるよう基本的な加工条件について検討を行い、圧力測定用プローブの製作を通じ加工技術の向上を図った。

1. 圧力測定プローブの形状とレーザ穴明け加工における問題点

図 1 に本研修で製作を試みた圧力測定用プローブの形状図を示す。図のように 3 つの部品から構成されており今回加工を行ったのは部品の直径 0.4mm の穴加工である。外径 1mm、内径 0.9mm のステンレスパイプの円筒面にパイプ端面から 10mm の位置に 90 度間隔で 4ヶ所明けられ、さらに 11mm の位置に位相を 45 度ずらして同様に 4ヶ所明けられている。穴形状・寸法精度に関しては特に厳しい公差は要求されていない。ただしパイプ内側に生じるバリを完全になくすことが加工依頼者からの要望であった。このような加工をドリルによって行った場合、ド

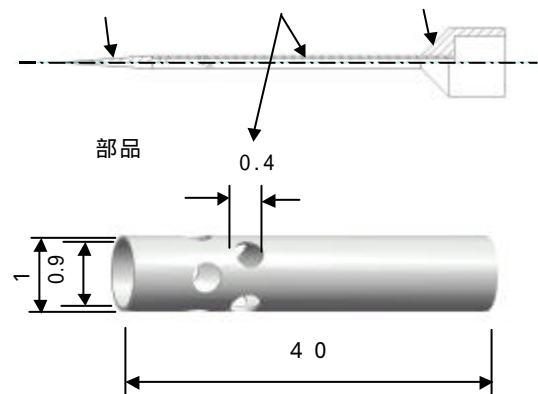


図 1 プローブ部品

^{*}電子・情報技術系 ^{**}プロセス・材料技術系 ^{***}機器システム技術系

リルの歩行現象および被削材とのすべりによる穴位置精度不良，ドリルの折損，加工力によるパイプの変形およびパイプ内側に生じる加工硬化したバリの除去など非常に困難な加工であると考えられる．一方レーザによる穴明け加工では今回製作依頼のあったブローブでは穴形状・寸法精度に関して厳しい公差が設定されていたわけではないが，ドリル加工と比較して穴形状がどの程度精度が得られるか，また穴径をどの程度まで制御できるか，さらに穴加工時のパイプ反対面への影響も考慮する必要がある．

2．加工条件の検討

2-1 実験方法

レーザ加工では加工品質・能力に影響を及ぼす加工パラメータとして，パルス幅，共振器系，印加電圧，繰り返し周波数，焦点距離，デフォーカス，送り速度および照射回数またこの他にアシストガスの種類および圧力など非常に多くのパラメータがある．中でも特に加工現象に大きな影響を及ぼすと思われるパルス幅，印加電圧，繰り返し周波数についてそれぞれ加工条件の違いが穴形状・品質にどの様に影響するのか基本的な傾向を知るために加工テストを行った．図2に実験装置の概略図を，表1に加工条件を示した．図のように被削材は板厚1mmのSUS304材を使用し，加工テーブル上に置き両端をマグネットシートで加工テーブルに固定した．加工ヘッドの切断ノズルと被削材の間隔は1mmとし，焦点距離100mmの集光レンズを用いて被削材の表面に焦点位置をあわせた．加工条件はパルス幅の違いによる加工への影響を確認するため，印加電圧を400Vに固定しパルスエネルギーが0.1，0.2，0.3，0.4J/Pとなるようにパルス幅を変え，レーザパルスを1パルスだけ被削材に照射し加工を行った．また同様に印加電圧の影響を確認するためにパルス幅を0.1msに固定し，パルスエネルギーが0.1，0.2，0.3，0.4J/Pとなるように印加電圧を変化させ加工を行った．さらにパルス周波数を1Hz，10Hz，100Hzと変化させそれぞれの穴直径および加工深さを測定顕微鏡によって測定した．

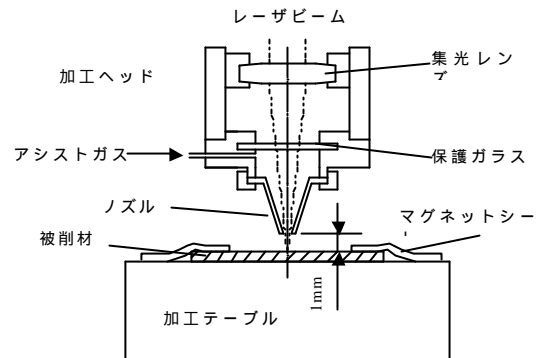


図2 加工装置概略図

表1 加工条件

被削材	SUS304
板厚	1mm
パルス幅	0.1～0.4ms
周波数	1Hz, 10Hz, 100Hz
電圧	400V～596V
集光レンズ焦点距離	100mm
焦点位置	被削材表面
アシストガス種類・圧力	酸素/0.2MPa

2-2 実験結果

図3に周波数10Hz，100Hzにおいて電圧およびパルス幅を変化させ加工を行った時の加工深さの測定結果を，図4に加工直径の測定結果を示す．加工深さは10Hz，100Hzのいずれの加工においてもパルスエネルギーの増加とともに増していく，しかし明らかに周波数が10Hzによる加工においてより深い加工が行われている．これは周波数を小さくすることによって同じパルスエネルギーでもピークパワーが大きくなったため深い加工が行われたと

考えられる．また電圧を変化させた場合とパルス幅を変化させて加工を行った場合ではパルスエネルギーが同じなら加工深さの顕著な傾向の違いは見られなかった．次に加工直径は加工深さと同様にパルスエネルギーの増加とともに大きくなる．これはエネルギーの増加によりビームの拡がり角が増しスポット径が大きくなったことと，エネルギーの増加により加工部周辺の溶融範囲が増したためと考えられる．また周波数100Hzの時の加工直径は10Hzでの加工に比べて2倍程度大きくなった．これは100Hzにおける加工では10Hzに比べピークパワーが小さく，よりフラットなエネルギー分布によるものと考えられる．また今回グラフに示さなかったが1Hzによる加工では穴径および深さとも大きなばらつきがあり，図5に示す穴形状のSEM観察結果からも穴形状が100Hz，10Hz時の加工よりも悪く非常に不安定な加工が行われていると考えられ，実加工において使用できないと判断した．これらの結果から，パルス幅，電圧の違いによる穴形状の顕著な違いはなく，周波数を10Hzと低くすることによって，より深い加工また穴径の小さい加工が可能であった．またパルスエネルギーの大きさにより加工穴径の制御が可能であることがわかった．

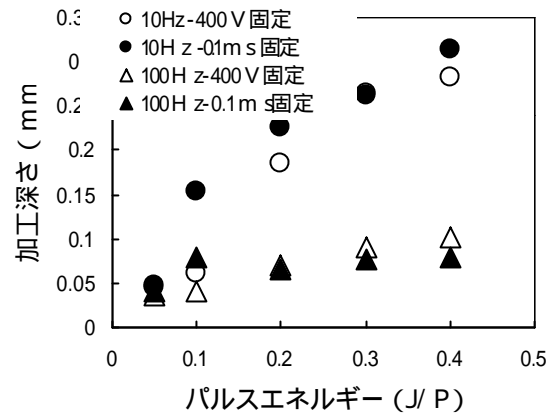


図3 各加工条件と加工深さ

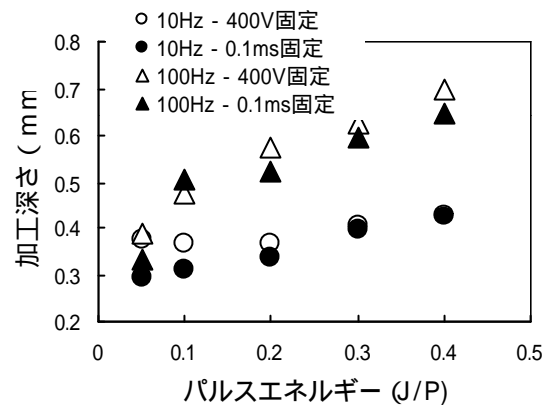


図4 各加工条件と加工直径

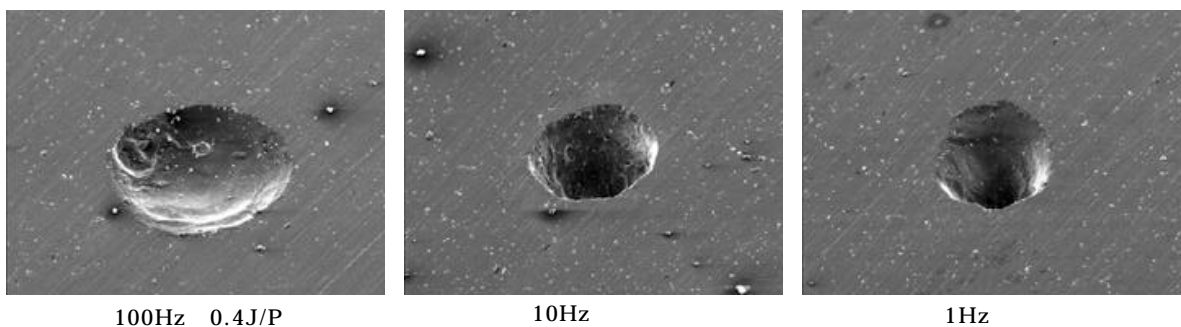


図5 各周波数における穴形

3. 圧力測定用プローブの加工

基本的な加工条件の検討結果から，今回のプローブの穴加工では0.4mmと穴径が比較的大きいこと，またパイプ肉厚が0.05mmと薄いことから周波数を100Hzとした．さらにプローブパイプの肉厚と同じ板厚0.05mmのステンレス板にパルスエネルギーを少しずつ変えて加工を行い，加工直径を測定しパルスエネルギーの大きさを0.14Jと決定した．図6に

プローブ穴加工時の外観写真を示す．図のようにインデックステーブルにミルコレットを用いてパイプを固定した．またパイプは肉厚が0.05mm と非常に薄いため，変形しないようにコレット締め付けネジは手で軽く締めつける程度とした．レーザ加工ではほとんど加工力が作用しないためこのような固定が可能である．加工位置あわせは加工ヘッド上部に取り付けられた CCD カメラの画像により位置決めを行った．

図7に穴加工後のSEM観察写真を示した．このようにパイプ裏面には加工により溶融した玉状のドロスの付着が見られる．またパイプ表面，穴壁面にもスパッタおよびドロスの付着が見られこの状態では品質はよくない．これをパイプ表面はエメリーペーパーの1000番で軽く磨き，またパイプ内面に付着したドロスを除去するために0.9mmのドリルを加工穴に通しドリルを手で数回回転させ穴内面に付着したドロスを除去した．さらに穴壁面のドロスを除去するために0.4mmのドリルをパイプ内面のドロスの除去と同様に数回ドリルを回転させドロスを除去した．図8，9にドロス除去後のSEM観察写真および外観写真を示す．このように外観もきれいに仕上がっており，またパイプ表面，壁面，内面いずれもきれいにドロスの除去がなされていることがわかる．

4．当加工機による深穴加工および最小穴径の加工

プローブの製作過程で基本的な加工条件について検討を行ったことにより，どの加工パラメータが加工結果にどの様に影響を及ぼすか限られた条件下ではあるが傾向を知ることができた．この結果を踏まえて今後の加工業務の参考とするためドリルでは特に加工の困難な深穴加工および非常に微細な穴加工について，当加工機においてどの程度加工が可能か試みた．まず加工可能深さを確認するために2枚のSUS304の板材を重ね合せその境界部に，周波数10Hzでパルスエネルギーおよびパルス照射回数を変えて加

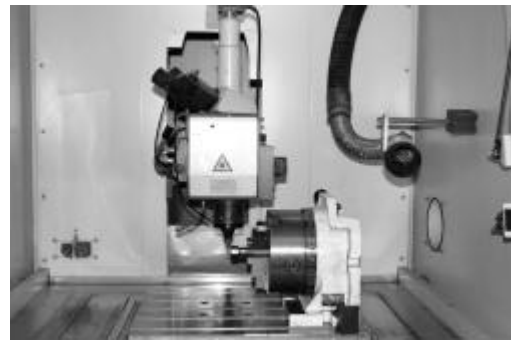


図6 プローブ穴加工装置概観図

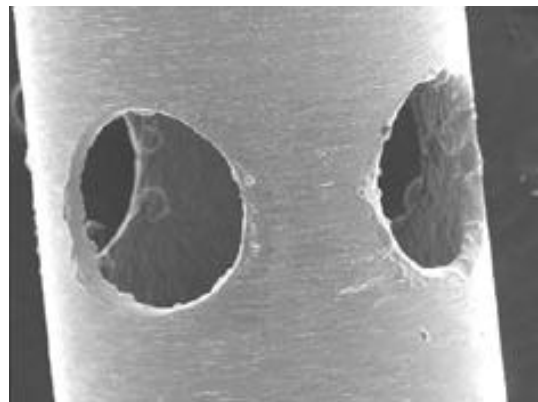


図7 パイプ穴加工ドロス

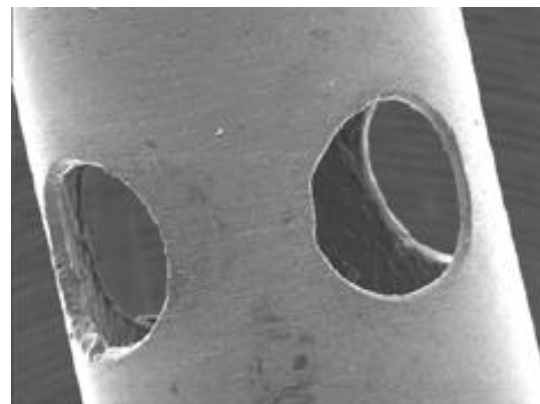


図8 パイプ穴加工ドロス

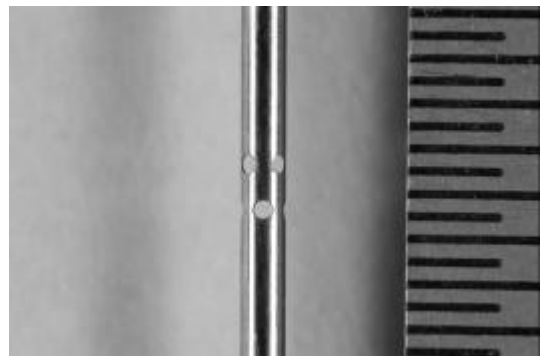


図9 パイプ穴加工外観

工を行った後、重ね合わせた板を離して穴深さを測定した。図 1 0 に穴深さの測定結果を示した。いずれのエネルギーにおいてもパルス照射回数とともに穴深さが深くなり約 1000 パルス程度照射したところから深さの増加の割合が小さくなる。また照射回数にかかわらず穴径は変化しない事がわかる。図 1 1 に周波数 10Hz でパルスエネルギー 0.4J、パルス照射回数 1000 回および 2000 回での加工外観写真を示す。穴径は約 0.3mm であり穴径の 25 倍以上の深い穴加工が可能であった。次に板厚 0.05mm の SUS304 材において周波数 10Hz で加工可能な最小パルスエネルギーにより加工を行った穴形状の SEM 観察写真を図 1 2 に示した。このように直径約 20 μm とドリル加工では不可能な微細な穴加工がなされているが穴形状はだ円形状になった。これはビームのパワー分布によるものと考えられ発振器の光学系の調整等で修正できるかどうかは今後検討する必要があるが、被削材を回転させながら加工することもだ円形状を修正する 1 つの手段と考えている。

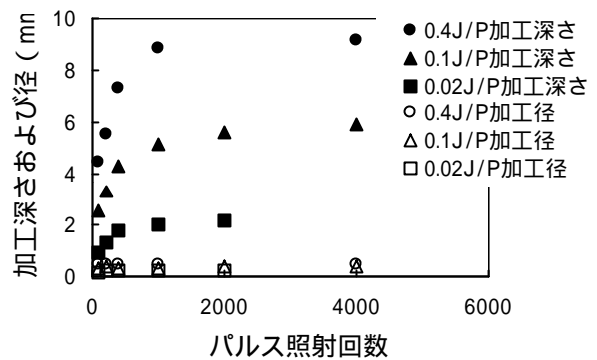


図 1 0 パルス照射回数と

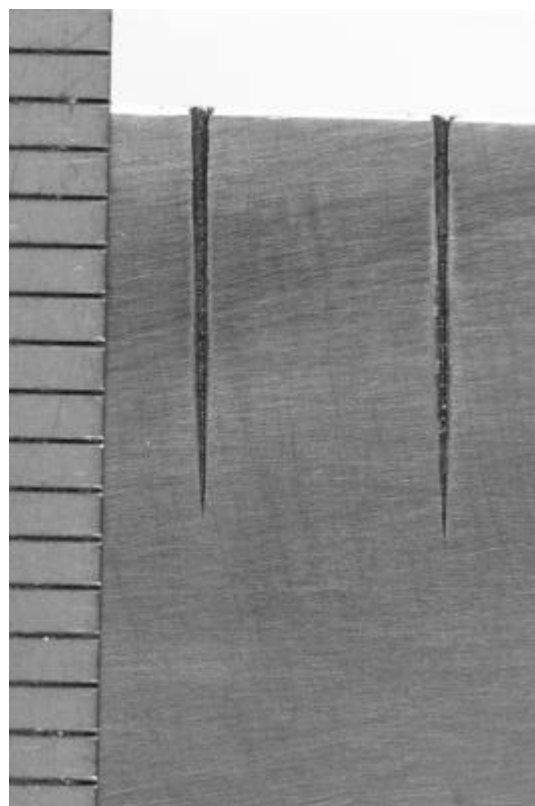


図 1 1 深穴加工例

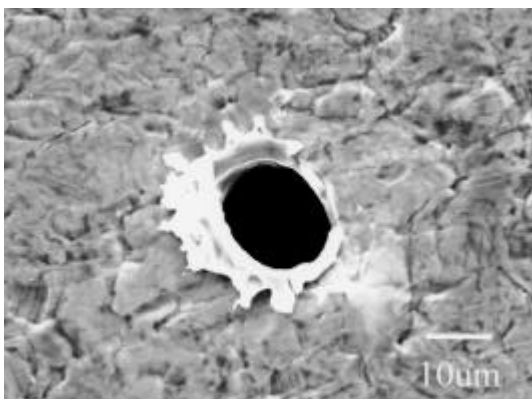


図 1 2 板厚 0.05mm の最小穴加工

5. おわりに

YAG レーザによる穴あけ加工において限られた条件下ではあるが加工条件を検討しプローブの製作、深穴加工および最小穴径の加工を通じて今後の加工業務に有用な加工データが得られた。また今後さらに品質の高い加工を行うためには今回検討しなかった加工パ

ラメータについても検討する必要があると思われるが、レーザによる穴加工ではドリル加工に比べ品質および穴精度が劣り研究者の要望にこたえられない場合もあると思われる。この場合ドリルでは困難な加工においてレーザ加工により下穴をあけ、ドリルおよびリーマ等で仕上げ加工を行うのも1つの方法であると考えられ、今後それらの方法について加工を試みさらに微小径穴加工技術の向上を図りたい。

謝辞

本研修を遂行するにあたり、エネルギー理工学専攻 辻助教授には研修の意を酌んでいただき非常に重要な実験部品の製作をうまくできるかどうか解らない状況において任せていただきました。また材料プロセス工学 篠田助教授にはYAGレーザ加工機の使用にあたりご理解いただきました。この場を借りて深くお礼申し上げます。

参考文献

日立建機レーザ加工機取扱説明書