

創成放電加工機による細穴の加工条件の検討

村上耕平^{*1)}、藤本昌義^{*2)}

Research on Processing Conditions for Small-Diameter Hole by Electric Discharge Scanning

MURAKAMI Kohei^{*1)}, FUJIMOTO Masayoshi^{*2)}

In die production, further minute processing techniques are demanded these days. In this study, we investigated a processing condition of aspect ratio in processing of a small-diameter hole. As a result, we understood that processing of high aspect ratio was enabled in what we changed the spindle rotation speed, machining fluid pressure and a condition of processing feed distance into. We introduce a processing result for cemented carbide.

1. 緒言

携帯電話やデジタルカメラなど情報通信・電子機器類の小型・軽量化が進んでいる。それに伴い、それらを構成する部材パーツも軽薄短小化が進展しており、金型製作においてもさらなる微細加工技術が要求されている。前年度までの研究においても筆者らは、創成放電加工機による微細形状の加工を中心に基礎的知見^{1),2)}を得てきた。

直径 1mm 未満の細穴の場合、直径に対する限界加工深さを比とするアスペクト比が 5~10 以上の深穴は困難³⁾とされている。昨今、マイクロドリルを用いる旋削加工による種々の微細深穴加工技術が検討されているが、金型材料として用いられることの多い超硬合金材に対しては放電加工に頼らざるを得ない。

そこで本研究では、創成放電加工機を用いて、超硬合金材に対する直径数百 μm 程度の微細深穴加工を試み、その最適加工条件について検討した。

2. 実験方法

2.1 加工条件

Table 1 に加工条件を示す。

Table 1 Processing conditions.

放電加工機	三菱電機(株)製 創成放電加工機 EDSCAN8E
被加工物	超硬合金材
加工電極	銅パイプ電極 0.1mm、0.2mm、0.3mm
電源(回路)	・SF 回路(コンテ'ンサ回路): 0.1mm、0.2mm ・GM 回路: 0.3mm
加工液	噴出法
主軸回転数	100~1000rpm

被加工物は、超硬合金材とした。細穴加工に際し、電源には本加工機メーカーが推奨している回路を用いた。また、加工液の流通方法について、噴射法は深穴加工のため、液の供給が困難であり効果が得られないことから、本実験では噴出法のみでおこなった。

2.2 評価機器

加工物の評価に用いた測定機器ならびに観察機器を Table 2 に示す。

Table 2 Measuring apparatus and observation equipments.

形状寸法測定	工具顕微鏡、 (株)オリンパス製、STM5-322 型
マクロ写真撮影	デジタルカメラ 松下電器産業(株)製、DMC-FZ10-K 型

3. 結果及び考察

3.1 噴出液圧の検討

0.1mm 銅パイプ電極(以下電極)による深穴加工について、噴出液圧が加工結果に与える影響について検討した。

加工条件は、電極送り深さを 4mm に設定して、噴出液圧を 0.01MPa、0.05MPa、0.1MPa および 0.2MPa に種々変化させてそれぞれ加工をおこない、その際の加工時間、加工深さを調べた。ここで、主軸回転数は 400rpm とし、加工電源等の条件は一定とした。

噴出液圧に対する加工時間ならびに加工深さの関係を Fig.1 に示す。Fig.1 から、液圧が高いほど加工深さが深くなり、それとともに加工時間もやや長くなることがわかる。

*1)機械・材料技術チーム(現:機械・電子・情報技術チーム) *2)機械・材料技術チーム(現:奈良県立医科大学事務局管財課)

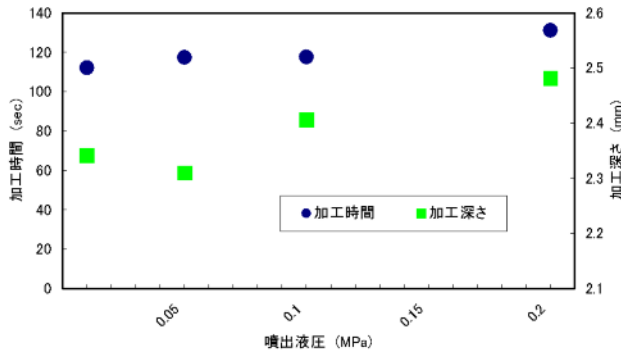


Fig.1 Effect of machining fluid pressure on machining ability.

これらのことから、以下のことが推察できる。

液圧が高い場合は、放電加工により彫り落とされた母材はスラッジとして円滑に排出され、新たに母材が彫り下げられていく。

液圧が低い場合は、スラッジが充分排出されず、母材と電極の間にスラッジを挟み込んだまま彫り進められる (Fig.2)。その結果、スラッジに対しても放電加工がおこなわれていることとなり、母材の加工深さが液圧の高い時と比べて小さくなると考えられる。

噴出液圧は、高くするほど加工性が良くなる。

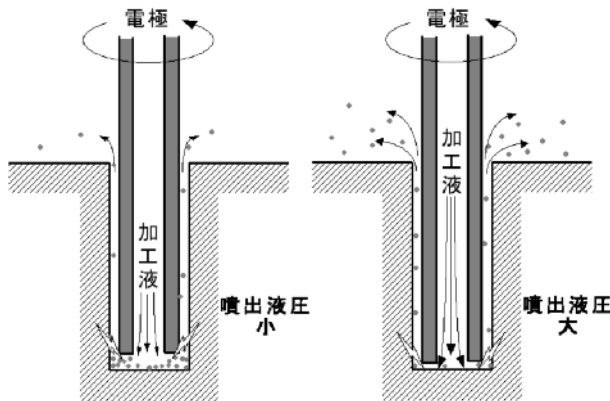


Fig.2 Eliminate of sludge by machining fluid pressure.

3.2 主軸回転数の検討

0.1mm 電極による深穴加工について、主軸回転数が加工結果に与える影響について検討した。

加工条件は、電極送り深さを 4mm として、主軸回転数を 100rpm、200rpm、400rpm および 1000rpm に種々変化させてそれぞれ加工をおこない、その際の加工時間、加工深さを調べた。ここで噴出液圧は 0.2MPa とし、加工電源等の条件は一定とした。

主軸回転数に対する加工時間ならびに加工深さの関係を Fig.3 に示す。回転数 100rpm での加工時、200rpm 以上の加工に比べて加工時間が長くなり、加工深さは逆に小さくなるのがわかる。また、200rpm 以上の加工ではそれぞれの結果に顕著な差は認められなかった。これらのことから、

ある一定の主軸回転数以下での加工の場合は、電極消耗率が大きくなり加工性も悪くなると考えられる。

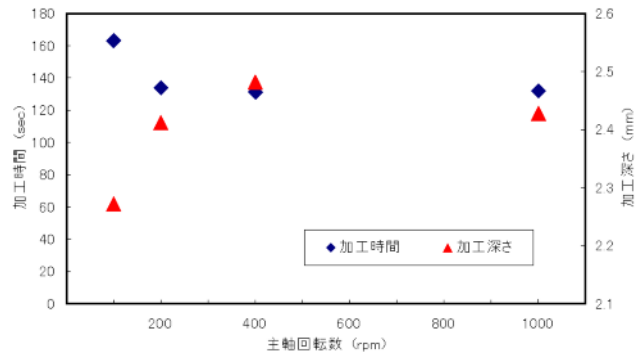


Fig.3 Effect of spindle rotation speed on machining ability.

3.3 加工アスペクト比の検討

0.1mm、0.2mm および 0.3mm の各電極により、電極送り深さを変化させて加工をおこない、それぞれの入口径と入口から任意の深さの断面の出口径を工具顕微鏡で測定した。加工条件は Table 3 のとおりである。

Table 3 Processing conditions.

加工電極径	電極送り深さ (n=5)	入口からの出口径の測定位置までの距離
0.1	2、4、6、8、10、12、14	1、2、3、4、5
0.2	2、4、6、8、10、12、14、16、18、20	1、2、3、4、5、6、7
0.3	3、6、9、12、15、18、21、24、27、30	1.5、3、4.5、6、7.5、9

(単位:mm)

3.3.1 アスペクト比について

深穴加工において、アスペクト比は一般的に直径に対する限界加工深さとされているが、ここでは次の2つの観点から加工形状が保たれている加工深さを検討し、アスペクト比を求めることとした。

加工アスペクト比

加工の際の電極の送り深さと加工深さが比例して増加する限界点の加工深さ。

加工アスペクト比

出口径 / 入口径 = 1.1 となる点の出口深さを加工深さとした。すなわち出口径が入口径に対し、10%までの増加を細穴加工の許容値内とし、それを越える部分は適正な加工ができないと見なした。

3.3.2 加工アスペクト比 の検討

電極送り深さに対する加工時間ならびに加工深さの関係を Fig.4 に示す。Fig.4 から、各電極において電極送り深さに対し加工深さが比例して増加する範囲のあることがわかる。また、その範囲では加工時間も同様に比例して増加している。このことは電極が大きく振れたり、曲がったりせずに鉛直（Z 軸）方向に安定して加工がおこなわれていることが推測される。その限界点からアスペクト比を求めた結果、0.1mm および 0.2mm 電極における加工では 20、0.3mm 電極では 21 と電極径に影響されることなくほぼ等しい値となった。

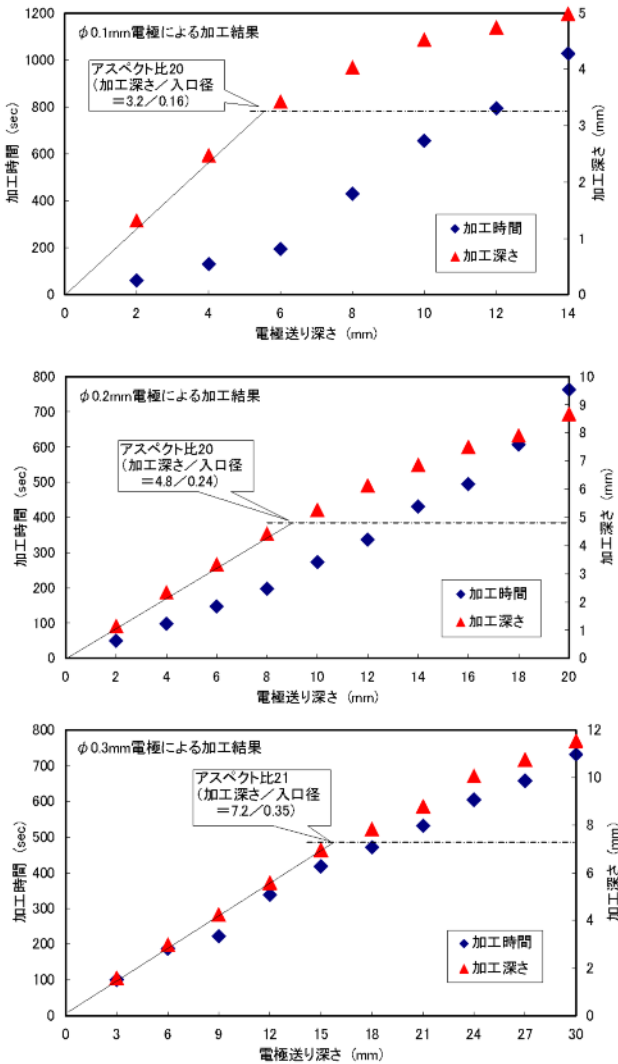


Fig.4 Relation among machining time, hole depth and feed distance.

また、限界点を超えてからは、電極送り深さの増加分に対し加工深さの増加分は小さくなり、逆に加工時間の増加分はより大きくなっている。その傾向は、特に電極径が小さくなるほど顕著となっている。

3.3.3 加工アスペクト比 の検討

次に、出口径 / 入口径 = 1.1 となる点の出口深さを加工深さとした場合のアスペクト比について考察した。Fig.5 に出口径測定位置に対する出口径 / 入口径の関係を示す。

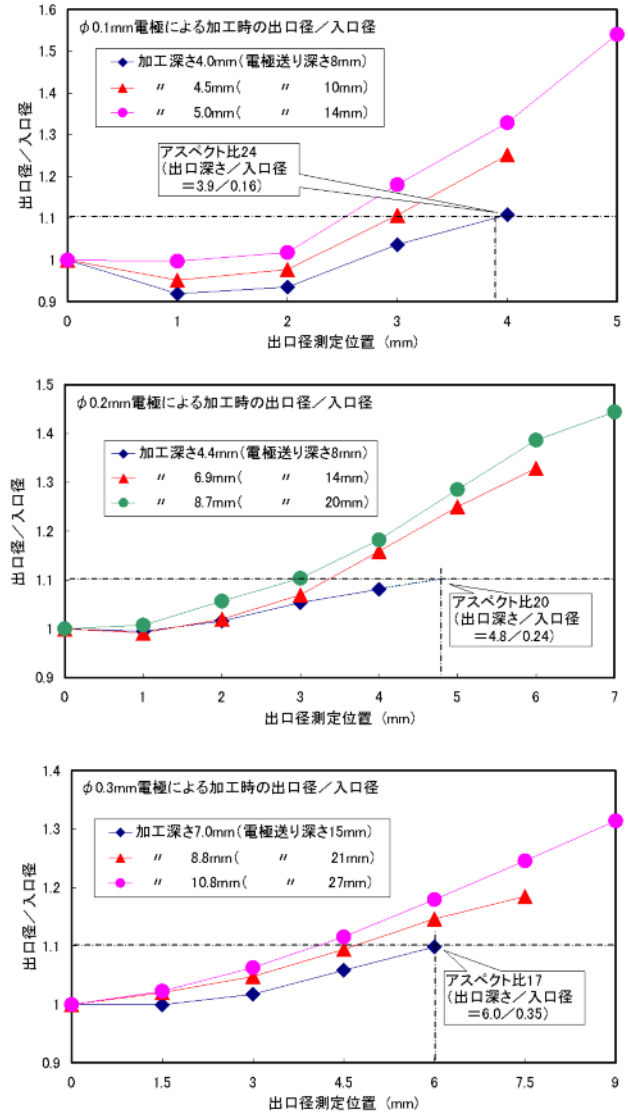


Fig.5 Relation between the distance of entrance to exit and the diameter of the exit / the entrance.

Fig.5 からわかるように、出口径測定位置、すなわち入口からの距離が大きくなるほど出口径 / 入口径は大きくなった。このことから、加工が進むにつれ電極の振れや曲がりが大きくなっていることが推察される。また、出口径 / 入口径 = 1.1 となる出口深さよりアスペクト比を求めた結果、0.1mm 電極における加工では 24、0.2mm 電極では 20、0.3mm 電極では 17 となり、若干の差は生じたもののおおよそ 20 前後の値となった。

ところで、0.1mm 電極のアスペクト比が若干大きくなった理由として、入口径が大きかったことが考えられる。出口径 / 入口径は 1 以上の値が得られることが予測される

が、0.1mm 電極による加工では、出口径測定位置 1mm および 2mm で 1 未満となった。このことは、電極が被加工物と最初に接触しスパークする際に送り速度が速すぎ、鉛直方向にバウンドする現象が起こることによるものと考えられ、小径電極ほど顕著であり、その際の過剰な放電が影響し入口径を大きくしたと推察される。一方、その影響がない場合の入口径は、出口径測定位置 1mm の出口径とほぼ同じとなり、その場合のアスペクト比は 20 程度となると考えられる。

また、同じ出口径測定位置でも加工深さが異なれば、出口径 / 入口径の値は変わる結果が得られた。例えば、0.1mm 電極の場合、出口径測定位置 4mm で加工深さ 4.0mm の出口径 / 入口径は 1.1 であるのに対し、同位置で加工深さ 4.5mm は 1.25、加工深さ 5.0mm では 1.33 と加工深さが増すほど大きくなる。これは、Fig.6 に示すように加工深さが大きくなるほど、電極の振れも大きくなり、既に加工した位置の側面にまで振れが影響し、径を広げるものと推察される。

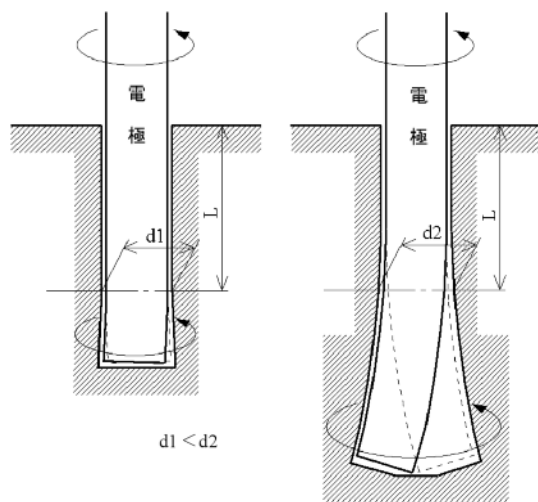


Fig.6 Effect of hole depth on the eccentricity of pipe-electrode.

3.3.4 高アスペクト比貫通穴加工例

被加工物 12mm × 5mm の超硬合金材 (K10) の中心部に 0.1mm 電極で許容値内とした加工精度 (出口径が入口径に対し、10%までの増加) の貫通穴を加工した。0.1mm 電極の場合、3.3.3 項の結果より、深さ 3.2mm までその精度で加工できる。そこで、被加工物の両面より、深さ 2.5mm づつ加工することで、精度を満たす貫通穴が得られると考えた。これは、創成放電加工機 EDSCAN8E では柱中心位置決め機能を備えており、0.1 μm まで計測可能であり、被加工物両面の中心に高い精度で加工することができるためである。加工物の写真ならびにその貫通穴の深さ方向の断面を Fig.7 に示す。入口から出口までほぼ穴径が変わらずに貫通できていることがわかる。入口径が 0.17mm であるため、アスペクト比は 30 となる。

また、加工精度やアスペクト比を考慮せず、両面より深さ 5mm づつの加工をおこない厚さ 10mm の被加工物の貫通穴を加工した。加工物の写真ならびにその貫通穴の深さ方向の断面を Fig.8 に示す。なお、この場合の両入口径は 0.18mm であるが貫通穴の中央部では 0.4mm となった。

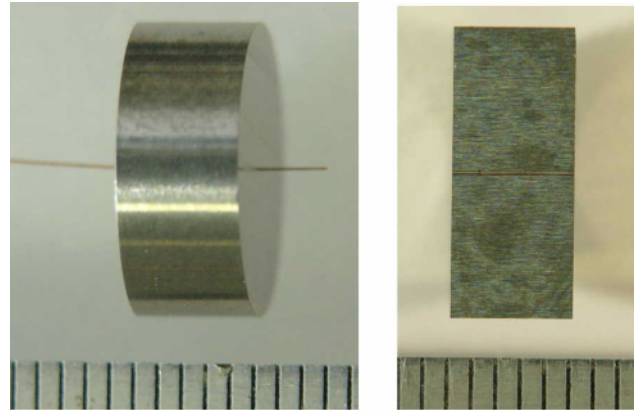


Fig.7 Through-hole formed by electrode of diameter 0.1mm . (thickness of 5mm)

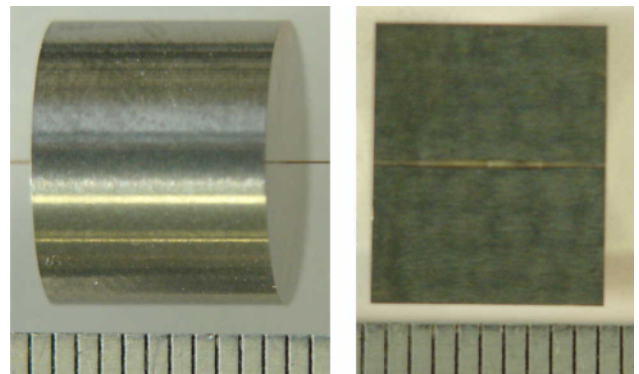


Fig.8 Through-hole formed by electrode of diameter 0.1mm . (thickness of 10mm)

3.4 0.1mm 電極による創成放電加工時の深さ方向の振れ量の検討

ここまで検討した深穴加工では、電極は Z 軸方向のみの送りであった。それに対し創成放電加工では、XY 軸方向への送りも加わるため、より加工時の電極振れが大きくなるものと推察される。そこで、XY 軸方向への送り速度が振れ量に与える影響について検討した。

XY 軸方向への送り速度を 3 段階に種々変化させて、Fig.9 に示す評価用型についてそれぞれ加工した。加工深さは 3mm とし、加工条件は Table 4 のとおりとした。加工物について破線部分で切断し、その断面の加工形状について評価をおこなった。

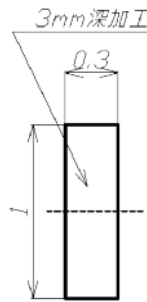


Fig.9 Mold model for experiment.

Table 4 Processing conditions.

被加工物	超硬合金材
加工電極	銅パイプ電極 0.1mm
電源	コンデンサ回路 (SF)
加工液圧	噴出法 0.2Mpa
主軸回転数	1000rpm
XY 軸方向への送り速度	500mm/min、250mm/min、100mm/min

なお、破線部断面のマクロ写真を Fig.10 に示す。

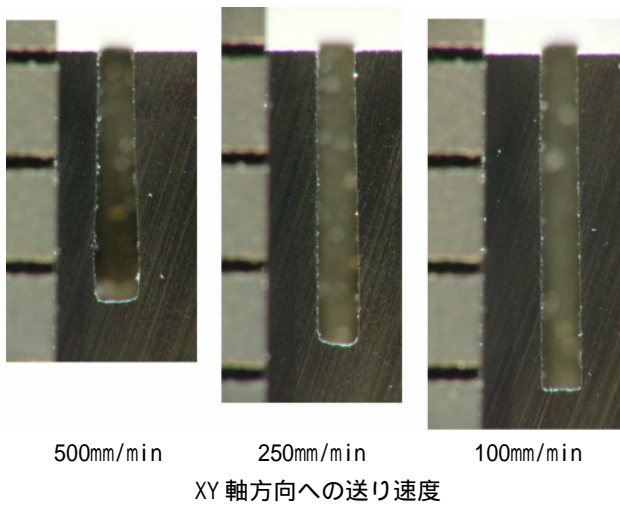


Fig.10 Work section by changed in feed speed to x-y axis.

Fig.10 から、XY 軸方向への送り速度 500mm/min で加工した場合、加工深さが深くなると穴径は大きく広がって加工されており、送り速度を 250mm/min、100mm/min と小さくするほど、その広がりも解消され、鉛直方向 (Z 軸) へ真っ直ぐ加工できていることがわかる。この加工の広がりも電極の振れにより生じたものであり、電極の振れ量を

$$\text{加工深さ } H \text{ の電極振れ量} = (\text{加工深さ } H \text{ の加工幅} - \text{加工入口幅}) / 2$$

より算出し、加工深さとの関係を Fig.11 に示した。

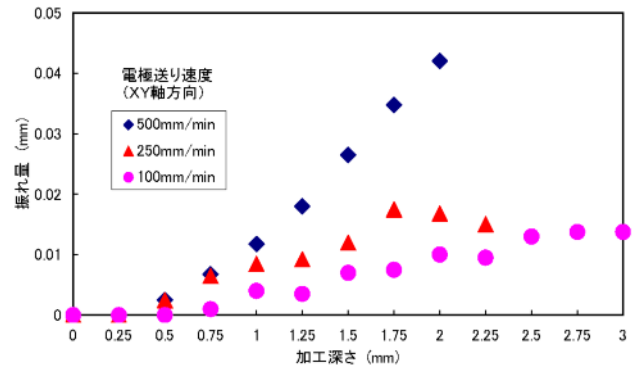


Fig.11 Relation between the depth of work and eccentricity.

創成放電加工ではメーカーが推奨する XY 軸方向への送り速度は 500mm/min とされているが、0.1mm 電極のような小径電極での微細加工の場合、送り速度をより小さくしなければならないことがわかった。特に加工深さが 0.5mm を越える場合、送り速度を大きくすると精度良い加工はできないと推測される。

なお、本試験では深さ精度を決める位置決め回数を 1 回と少なく設定したため、送り速度 500mm/min および 250mm/min 条件で 3mm の加工深さが得られなかった。

4. 結言

本研究では、創成放電加工機におけるより深い細穴加工について、以下の知見を得た。

- (1) 噴出液圧は、高くするほど加工性が良くなる。このことは、液圧が低い場合は、スラッジが充分排出されず加工性が悪くなると考えられた。
- (2) 主軸回転数は、ある一定の回転数以下では加工性が悪いものの、回転数 200rpm 以上では加工性に有意差は認められなかった。
- (3) 噴出液圧、主軸回転数、および電極送り深さについて最適な条件を選ぶことにより、加工全域で形状の保たれた細深穴を加工することができる。その際の加工アスペクト比は 20 程度となる。また、貫通穴については、確実な位置決めによりアスペクト比 30 の加工が可能であった。
- (4) (1)~(3) で得られた細深穴加工条件と XY 軸方向への最適な送り速度により創成加工することで、深い型の微細形状についても精度の高い加工が可能となる。

本研究により、高硬度材を用いた微細金型の製作などに得られた基礎的知見が役立つと考えられる。

なお、本研究で使用した装置は、日本自転車振興会から競輪収益の一部である機械振興資金の補助金により設置したものである



参考文献

- 1) 藤本昌義 , 奈良県工業技術センター研究報告 , No.30,32-33(2004)
- 2) 村上耕平 , 藤本昌義 , 奈良県工業技術センター研究報告 , No.31,16-23(2005)
- 3) 西村正彦 , 三重県科学技術振興センター工業研究部研究報告 , No26,15-17(2002)