

放電・切削共用多目的微細加工装置の開発

Development of a Multipurpose Machine for Micro-Cutting and Micro-EDM

岡本 伸 英*・藤野 正 俊**・増 沢 隆 久**・古 屋 七 郎*
Nobuei OKAMOTO, Masatoshi FUJINO, Takahisa MASUZAWA and Shichiro FURUYA

1. はじめに

近年、各研究室より依頼され試作工場で設計、製作する実験装置や部品の高精度化、マイクロ化に伴い、精度が μm 単位の微細加工を行う必要性が高まっている。特に加工寸法が 0.3mm 前後の穴、溝、スリット加工が多く、これらは形状が複雑になるほど複数の工作機械を使用し、その都度高精度の位置決めが重要となる。また、ほぼこの寸法を境に作業者の触覚、聴覚、視覚などいわゆる五感に頼る部分もあり、加工の難易度も急激に増して熟練を要する作業となることは避けられない。このようなことから、早急に加工方法の改善や専用機械の開発をし、熟練者でなくても微細加工を行えることが望まれていた。そこで、試作工場ではドリル加工、エンドミル加工、放電加工が行え、さらに WEDG によりマイクロドリル、マイクロエンドミルを自動成形する機能を兼ね備えた放電・切削共用多目的微細加工装置の開発を本所増沢研究室と共同で行い、初期の目的を達成したので報告する^{4),5)}。

2. 本装置の概要

本装置の特徴は市販の工具による切削加工のほかに WEDG 機能（本所、増沢研で開発）を基本として持つことにより、微細なドリル、エンドミルなどの切削工具や放電加工用の微細電極を機上で成形することを可能とした点である。また、それらを用いてただちに穴加工、溝加工、スリット加工、放電加工等を行うことにより加工物の取り付け、取り外しをすることなく多様な加工ができ、切削および放電加工の共用化が可能となった²⁾。

WEDG 法はガイドに沿って走行するワイヤを電極とし、被加工物を放電現象により加工する方法で、微細軸の製作には最も適した加工方法であることは広く知られており、放電加工との組み合わせで微細形状穴の加工に

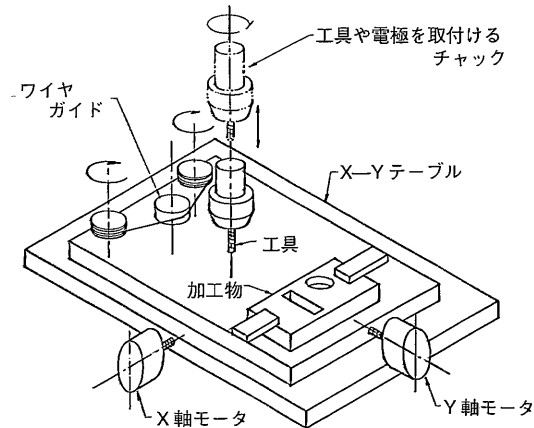


図1 本装置の概要

威力を発揮し、高い評価を得ている³⁾。

図1に本装置の概要を示す。

工具成形と切削加工あるいは電極成形と放電加工の一連の作業は、チャックに超合金等の素材を取付け X-Y テーブルを移動し、WEDG によりドリル、エンドミル、放電加工用電極を成形し、再び X-Y テーブルを移動することで加工物に対して希望の加工を行う。放電加工を行うときの加工液は、噴流による方法と加工物を固定した加工槽（図1では省略している）に液（白灯油）を満たす方法とが考えられるが、今回は後者を採用した。また、市販のドリル、エンドミル等を使用するときはチャックに取付けて、NC ボール盤や NC フライス盤と同様の使用方法で加工を行うことができる。

3. 本装置の構成

図2に本装置の構成を示し、図3に加工装置本体を示す。駆動軸はドリル加工、エンドミル加工、放電加工、WEDG を行えるよう X, Y, Z, C 軸の4軸を制御することとし、制御用コンピュータは NEC の PC-9801 を用いている。

*東京大学生産技術研究所 試作工場

**東京大学生産技術研究所 第2部

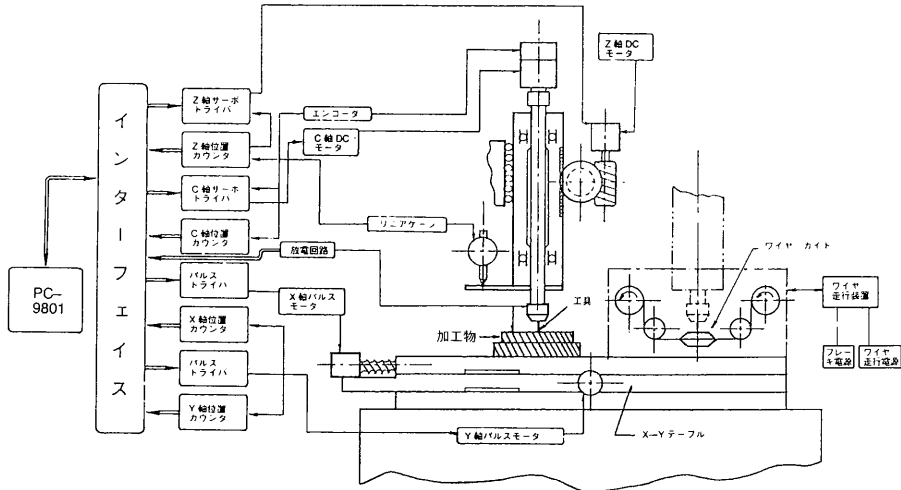


図2 本装置の構成

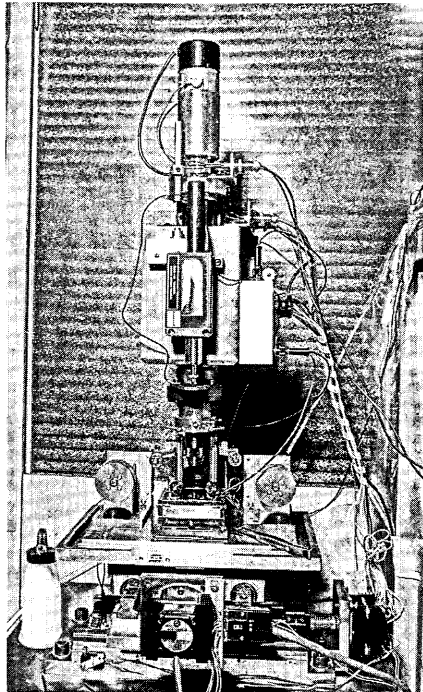


図3 加工装置本体

X軸、Y軸はパルスモータとボールネジの組み合わせにより1 μ m/Pのオープンループ制御方式で行い、最大ストロークは80mmである。

C軸は回転と角度設定を行う必要から、ロータリエンコーダとDCサーボモータを使用し、パルス入力形のDCサーボドライバを用いている。回転時は外部のパル

スジェネレータにより駆動し、角度設定はロータリエンコーダのZ相を原点として、コンピュータから角度設定パルスを出力することとした。角度分解能は0.72度で最高回転数は2000rpmである。

Z軸は位置決め制御のほかに放電状態の制御も行うため、1 μ m以下の精度が必要であり、タコジェネレータ付DCサーボモータに1/500減速機を組み込み、アナログ式DCサーボドライバを採用した。位置決め制御は減速機等のバックラッシュの影響を除くため、Z軸の出力軸に取り付けたリニアゲージによりコンピュータを通したフィードバック制御を行っている。分解能は1 μ mで最大移動速度は16mm/min、最大ストロークは40mmである。放電回路はRC回路を用いている。また、電極、ドリル、エンドミル等の工具は ϕ 0.1mmから ϕ 3mmまでの使用が可能である。

制御プログラムは2種類に分け、加工データ等の入力部をBASIC、ハードウェアのコントロール部をアセンブラで開発した¹⁾。

4. 主要部の設計

4.1 主軸部を図4に示す。

モータの回転は③の伝達軸を介して⑩のチャック取付け軸に伝えている。各軸はベローズカップリングで連結されており、伝達軸は上下2個の深みぞ形ベアリングにより支えられている。チャック取付け軸はアンギュラ形ベアリングにより回転精度を保持し、⑥の間座で予圧の調整を行っている¹⁾。

4.2 装置の加工部を図5に示し、図6にWEDG用ワイヤ走行部を示す。

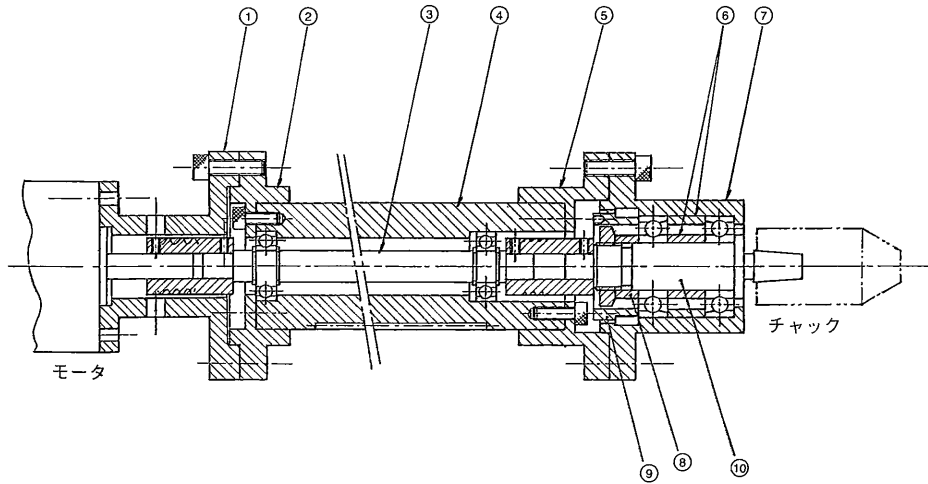


図 4 主軸部

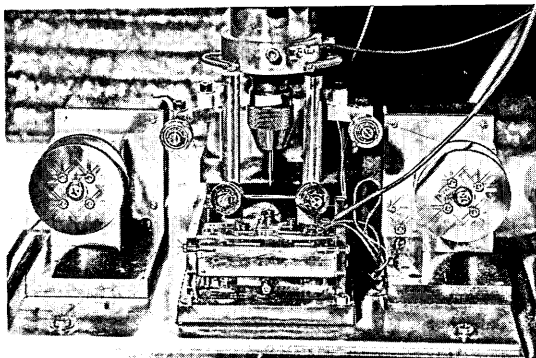


図 5 装置の加工部

ワイヤの走行は、2 台のギヤヘッド付き DC モータを使用し、送り出し側モータと巻取り側モータとしている。ワイヤは $\phi 0.2\text{mm}$ の黄銅線を使用し、巻取張力は約 1N を与え、走行速度 $75\text{mm}/\text{min}$ で、走行の安定を保つため 4 個のローラとワイヤガイドを用いている。

5. 加工実験

図 7 は WEDG による丸、三角、四角断面の電極成形とそれぞれを用いて放電加工を連続して行った例である。電極は超硬合金を用いている。加工物は SUS304 の板厚 0.2mm である。このように C 軸を角度制御することで電極を多角形に仕上げることができる。

図 8 は図 7 と同様の方法で超硬合金の素材を $\phi 0.3\text{mm}$ の電極に成形し、[試] の文字を放電加工で行った例である。加工物は黄銅の板厚 0.2mm で、加工条件は開放電圧 120V 、コンデンサ容量 100pF とし電極送り量は 0.4mm である。電極回転数は 2000rpm 、加工液は白灯油を用いている。

図 9 は市販の呼び径 0.3mm 高速度鋼ドリルを使用し、加工を行った例である。加工物および加工位置は放電加工と同一で、加工条件はドリル回転数 2000rpm 、送り速度 $1.6\text{mm}/\text{min}$ の定速送り、送り量 0.4mm とした。

双方の拡大図をよく観察すると放電加工は、ドリル加

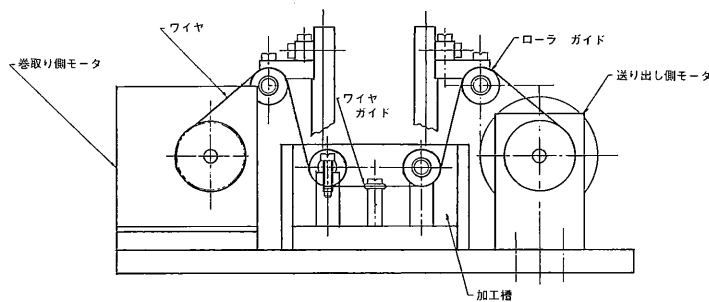


図 6 WEDG 用ワイヤ走行部

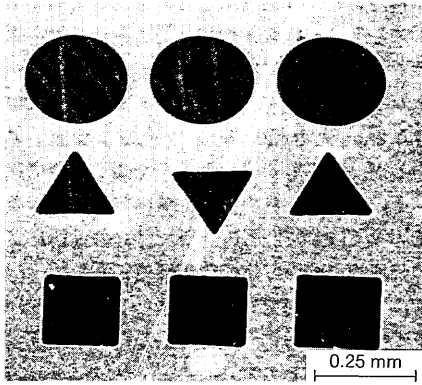


図7 丸, 三角, 四角形状の放電連続加工例

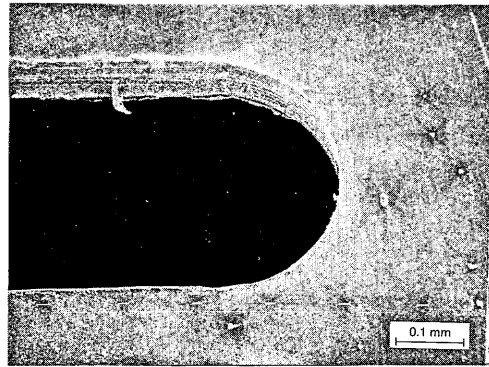


図10 スリット加工例

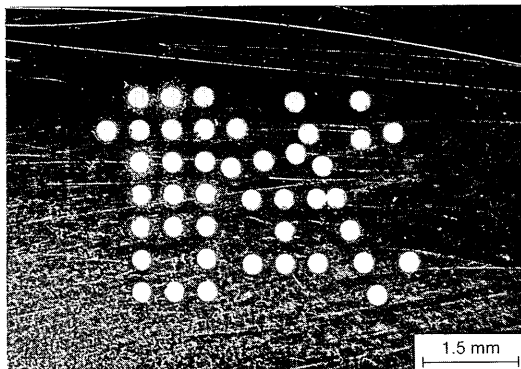


図8 放電加工例

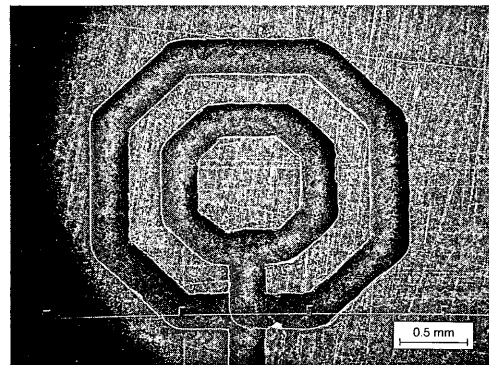


図11 パターン加工例

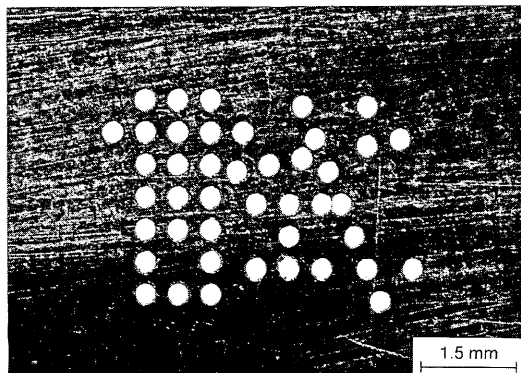


図9 ドリルによる加工例

工に比べ穴間隔の狭い所での変形はなく真円度も良好である。なお、穴の精度であるが、単穴加工においてφ0.300mmの目標値に対し、放電加工では電極直径0.299mmを使用し、穴直径0.305mm、ドリル加工ではドリル直径0.302mmを使用し、穴直径0.306mmの加工

精度を確認している。

図10は市販の呼び径0.3mm(実寸法φ0.285mm)の高速度鋼エンドミルを使用し、黄銅の板厚0.2mmにスリット加工を行った例で、回転数1000rpm, 送り速度1.6mm/min, 1回の切込み量0.1mmである。微細スリット加工にありがちなエンドミルのふらつきや逃げは認められない。スリット幅は0.300mmの目標値に対し0.320mmの加工精度であった。また、図11は同様のエンドミルで外寸法2.3mm×2.3mmのパターン加工を行った例で、回転数2000rpm, 送り速度0.8mm/min, 深さ0.1mmである。このような大きさの加工となると当工場で現有するフライス盤を用い、目視による手動の方法では対応できなかったが、本装置の完成により図のような形状も加工することができ、彫刻機としての利用も考えられる。

図12は外径0.6mm, 内径0.4mmのSUS304極細パイプに直径0.3mmの微細穴を放電加工で行い、ノズルを製作した例である。微細寸法のパイプにドリルによる加

研 究 速 報

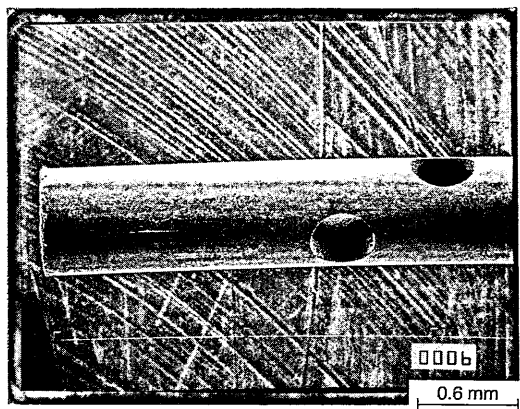


図12 極細パイプへの加工例

工は不可能で、電極の成形と放電加工をオンラインとしたことにより初めて可能となった。

6. む す び

本装置と同時に NC 制御用プログラムを開発し加工実験を行った。いままで述べてきたように、放電・切削共用多目的微細加工装置の開発は、初期の目的を達成し良好な結果を得た。このことにより、従来試作工場では不可能であった微細な多角形断面の穴や溝、スリットの加工が可能になった。また、加工機の機械的強度および精度も特に問題とすべき点はなく満足でき、十分に当該試作工場の生産ラインの一部として配置できることが明らか

かになった。また、作業者にとっても研究者の要望に対する加工方法上の選択肢が増加したことにより、きめこまかなサービスの向上に寄与するものと考えられる。

マイクロドリルやマイクロエンドミルの成形はそれぞれ、直径0.2mmと直径0.25mmを完成させ加工実験を行っているが、刃形状にやや工夫を要するので検討中である。そのほか、工具の消耗や破損等トラブル時の対応、工具の WEDG による再研磨、材質の違いによる加工特性の整理等については今後の課題としたい。

おわりに本装置の開発にあたり機会を与えてくださった木内前工場長、製作に協力していただいた試作工場職員の皆様に感謝いたします。(1992年5月6日受理)

参 考 文 献

- 1) 藤野正俊, 岡本伸英, 増沢隆久: 放電・切削共用多目的微細加工装置の開発, 第1回電気加工学会全国大会講演集 (1991) 111-114
- 2) 日本工業新聞 1991, 12, 2
- 3) 増沢隆久, 藤野正俊: ワイヤ放電研削による細軸加工とその応用, 生産研究 37, 11 (1985) 29-34
- 4) 岡本伸英, 藤野正俊: 複合微細加工機の開発, 核融合科学研究所技術研究会講演集 (1991)
- 5) 岡本伸英, 藤野正俊: 複合微細加工機の開発 (第2報) 高エネルギー物理学研究所技術研究会講演集, (1992)
- 6) 鈴木敬愛, 岡本伸英, 古屋七郎: 精密送り機構の試作と小型材料試験機への応用, 生産研究 35, 11 (1983) 23-26