

# 卓上型放電微細穴・溝加工装置の開発（設計・製作と制御システム）

立花一志<sup>A)</sup>、御厨照明<sup>A)</sup>、熊澤克芳<sup>A)</sup>、増田俊雄<sup>B)</sup>、中木村雅史<sup>A)</sup>

名古屋大学全学技術センター<sup>A)</sup>工学技術系装置開発<sup>B)</sup>工学技術系電子情報

## 1 はじめに

半導体部品や電子部品の高密度化・微細化に伴い、金型のスタート穴には高精度な微細穴加工が要求される。また、小径が進むノズル、光通信部品、流体制御部品等の加工分野においては高精度な細穴専用の放電加工機が用いられている。しかしその価格は3百万円から数千万円と非常に高価である。

そこで大学の研究のニーズに機能を特化した、安価でコンパクトな卓上型の電子制御 XY ステージを装備した、放電による微細穴・溝加工装置の開発を提案する。放電加工は通常の加工とは異なり、非接触加工でひずみの少ない高精度な加工が可能な加工法として知られている。その利点を生かし、直径数 10 $\mu\text{m}$  の穴加工や、ドリル加工などが困難な厚さ 10 $\mu\text{m}$  単位の箔などに高精度で微細な円孔や溝の作製を目指す。

微細穴放電加工装置を製作するにあたり、「短時間できれいな円孔を作製する」「放電による微細溝加工を行う」という2つの目標を設定した。装置の開発は2年を予定し、平成17年4月から名古屋大学工学技術系の装置開発と電子・情報の技術系連携的な研修として取組んだ。

昨年度<sup>[1][2]</sup>は、参考文献の読合せから始め、3次元 CAD の基本的な操作を習得して、電極を装着する直動電動スライダ(Z軸)のみが移動できる微細穴加工装置本体部分の設計図面を作成し、製作した。加えて、Z軸駆動のための電極位置制御装置および放電の制御システム(RC電源)を構築した。次に加工実験を行い、加工に要した時間や作製した円孔の直径等を測定・評価し、加工装置および加工条件に検討を加えた。その結果、電極固定の状態では、円孔直径のクリアランスが3.8~5.0 $\mu\text{m}$ 程度となる加工条件を設定できた。

今年度はまず加工液を油から水に変更して実験を行い、作製した円孔の加工形状、加工径および加工時間に検討を加えた。次により真円度の高い円孔を作製するために電極を回転する機構を新たに設計・製作するとともに、ワークを移動するための電子制御 XY ステージを装備した。さらに、コントローラを独立させて放電および XYZ 軸の電子制御システムを完成させ、複数の微細穴・溝加工と電極創生加工が可能な装置として実験を行い、評価した。本稿では加工装置本体およびコントローラの改良と完成過程を中心に述べる。

## 2 加工装置本体の製作

### 2.1 電極回転装置

#### 2.1.1 回転装置の設計・製作

「よりきれいな円孔を作製する」という目的で、電極の回転機構の設計に着手した。設計に要求される性能として、まず電極の滑らかな回転を保証するための剛性が必要とされることである。一方回転機構は、Z軸電動スライダに取付けるため軽量であることが望ましい。この相反する要求を満たすような設計を行った。ここで、電極チャッキング時の芯振れ精度の向上を図るため、チャックには市販のコレットチャックを使用し、絶縁性カップリングによりモータと直結する構造とした。

作製した回転装置の3D CAD 画像を図2.1に示す。回転機構は電極を回転させるモータと電極を固定するコレットチャック、フレキシブルカップリングおよびチャックを支持するハウジング(アンギュラコンタクト)から構成されている。ハウジングは一体型で、上下の2対のアンギュラ玉軸受けとカラーでコレットチ

チャックを固定した．電極の回転数は 0~3000rpm 程度を想定し，駆動用モータにはブラシレス DC モータ（オリエンタルモータ社製 AXH015-A）を，コレットチャックにはアルプスツール社の SS-ECHS-80 を採用した．モータ取付け台および軸受け部はアルミ合金を使用し，肉抜きをして軽量化を図った．

### 2.1.2 回転装置の装着とその評価

回転装置の加工装置本体への装着には，マシニングセンタの測定機構を利用し最終調整を行った．測定には， $\mu\text{m}$  オーダのダイヤルゲージを用いて加工装置に対して正面と横の 2 方向で行った．装着した回転装置の傾きの測定結果は，Z 軸スライダの移動距離 1mm に対しそれぞれ  $0.027\mu\text{m}$  と  $0.4\mu\text{m}$  で，ほぼ無視できる程度と思われる．次にモータを回転させて，ベアリング下部に取付けたリングでインナーリングを締め付けながら調節し，各回転数における振れを前述と同様の方法で測定した．なお，回転数の制御は周波数カウンタでパルスを計り，可変抵抗器により調節した．測定は 200~1000rpm で 200rpm 毎に行ったが，回転は滑らかで各回転数ともに振れは  $1\mu\text{m}$  以内に収まっていた．したがって今回製作した回転装置は，加工装置本体に精度よく装着できたものと考えられることができる．

実際に電極を回転させて加工実験を行い，円孔を作製した．まず，SUS304 ( $t=100\mu\text{m}$ ) にコンデンサ容量  $C=0.024\mu\text{F}$ ，抵抗  $R=3.9\text{k}\Omega$ ，加工電圧  $E=120\text{V}$ ，ディスクリ  $D=40\text{V}$  の条件で，加工液に蒸留水を用いて回転数を変えて加工状況を評価した．なお電極には  $\phi=300\mu\text{m}$  のタングステン W のロット材を用いた．加工時間は，100~1500rpm において 20sec 前後と安定した加工ができた．

次いで，ワークに厚さ  $100\mu\text{m}$  の SUS304, Cu, SK4 の 3 種類の板材を用い， $D=40\text{V}$ ,  $R=3.9\text{k}\Omega$  一定の下で  $C$  を適宜変えて，円孔作製までの加工時間と直径および加工形状を評価した．電極回転数は 500rpm とした．図 2.2(a)(b)に SUS304 の  $C=5000\text{pF}$  における電極を固定および回転して作製した，SUS304 の円孔の SEM 画像を示す．図 2.2(a)は電極の形状がそのまま円孔として転写されている．一方図 2.2(b)を見ると，電極が回転することで真円度の高い，きれいな円孔が作製できていることが分かる．

図 2.3 には各コンデンサ容量と円孔直径の関係を示す．図中のオープンマークは電極回転，ソリッドは電極固定のデータ<sup>[1]</sup>である．円孔の平均直径は固定で  $308\mu\text{m}$  なのに対して，回転させると  $345\mu\text{m}$  と電極直径よりも 15%程度も大きくなっている．チャックの回転振れはほぼ 0 に等しいことから，加工穴の大きい原因は電極自体の曲がりに起因した

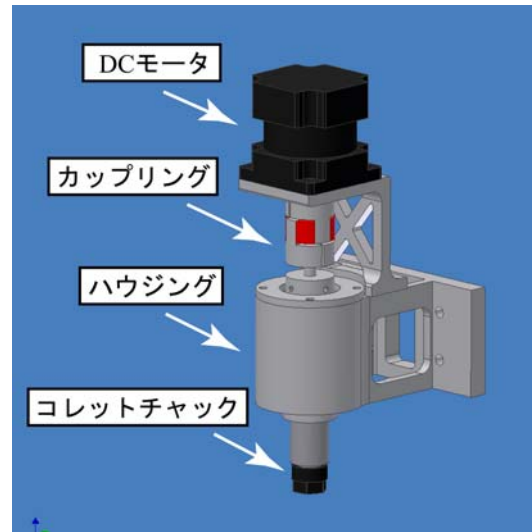
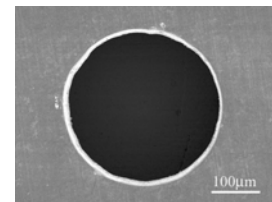
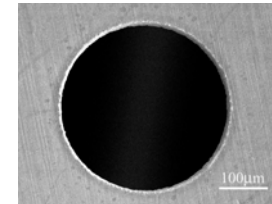


Fig. 2.1 回転機構の 3D 画像



(a) 電極固定 ( $\phi=308.2\mu\text{m}$ )



(b) 電極回転 ( $\phi=346.2\mu\text{m}$ )

Fig.2.2 円孔の形状 (SUS304)

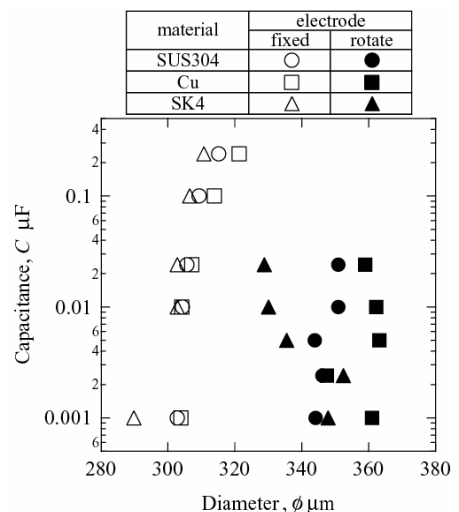


Fig. 2.3 コンデンサ容量と円孔直径の関係

振れによるものと思われる。

図 2.4 はコンデンサ容量と加工時間の関係である。加工時間は、電極を固定しても回転させてもほぼ同じ傾向を示していることがわかる。図 2.3 と図 2.4 の結果から、3 種類の種類における最適加工条件はともに  $CR=0.005\mu\text{F} \times 3.9\text{k}\Omega$  であることが分かった。

## 2.2 XY ステージの装着

ワークを移動させるための XY ステージにはシグマ光機社製の SGSP26-100 を採用した。ここで、XY 軸の移動量はともに 100mm、1 パルスの移動量はフルステップで  $4\mu\text{m}$  である。ステージは従来の Z 軸の支柱に支柱台を追加し、モータ部を支柱の下にくぐらせて取付けた。取付けは、マシンングセンタのベッドに対し分解した加工装置のテーブルと XY ステージを平行に設置した後、支柱を支柱台に取付けこれをテーブルに固定した。フィラーゲージを用いて調整したところ、上下 90mm に対し、正面から見て左右方向の振れは  $0\mu\text{m}$ 、前後が手前に  $25\mu\text{m}$  傾く結果となった。また、ドライバはテーブルの裏側部分に取付け、コンパクトな外観とした。以上のような過程を経て完成した加工装置を図 2.5 に示す。

## 3 制御装置

### 3.1 電極移動制御の調整と改良

加工液を従来の油性（メタルワーク）から水性（蒸留水）に変更するに伴い、加工条件の変更とともにコントローラの改良も同時に着手した。

昨年度は極電圧とその微分値で放電の検知および加工屑等による疑似短絡状態の検知をさせていたが、微分値の感度を下げる事で無駄な後退動作を減らすという回路の変更を行った。さらに、ディスクリ設定値以下の時間の監視タイマ（アナログ回路）の短縮と、その後の後退動作に入るまでの待ち時間の調節ができるようにした。その結果加工液が蒸留水の場合、電源電圧  $E=100\sim 120\text{V}$ 、ディスクリ  $D=5\sim 20\text{V}$ 、抵抗  $R=3.9\text{k}\Omega$ 、コンデンサ容量  $C=0.1\sim 0.24\mu\text{F}$  の条件で、円孔を 2 分から 4 分以内で作製することに成功した。

新回路に変更したことによる影響を調べるため、加工液を従来のメタルワークに変えて SUS304 と Cu で再実験を行った。すると新回路では加工時間が長いことがわかり、メタルワークでは旧回路のほうが良い結果

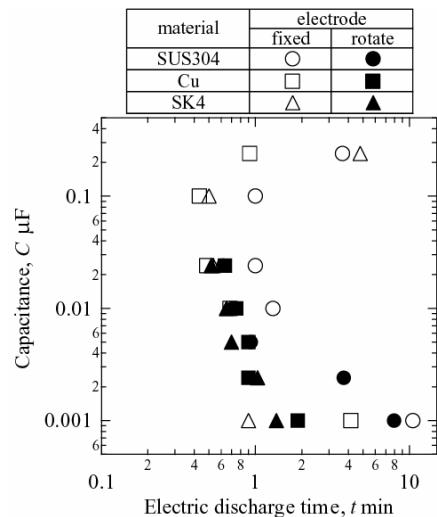


Fig. 2.4 コンデンサ容量と加工時間の関係

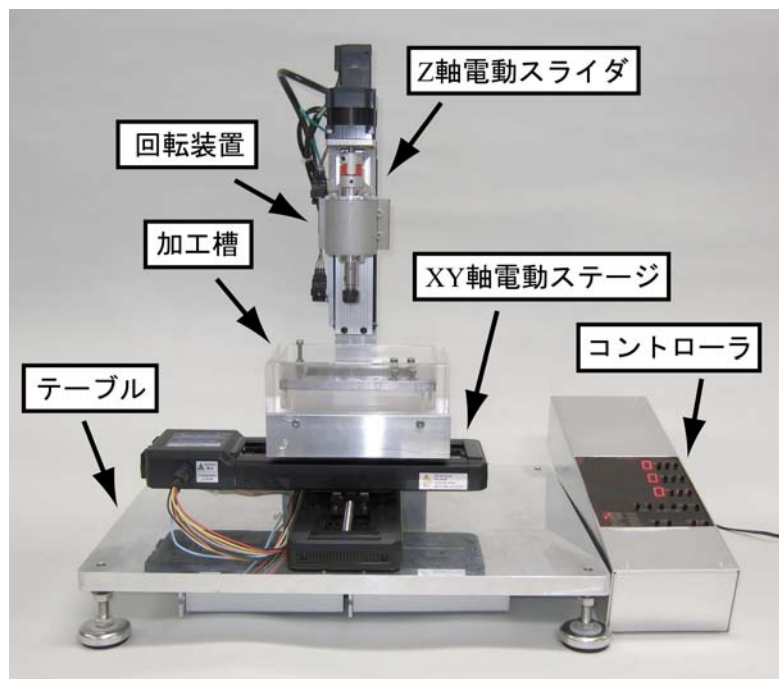


Fig. 2.5 完成した加工装置の外観

