

超小型放電加工機の開発

Development of Pencil-Size Electro-Discharge Machine

樋口 俊郎*・古谷 克司*・山形 豊*・武田 幸三**
 Toshiro HIGUCHI, Katsushi FURUTANI, Yutaka YAMAGATA, and Kohzo TAKEDA

1. はじめに

放電加工は、微細穴加工の必要性があるノズル、ガラス金型のガス抜き穴等の加工に対する有力な手段の一つである。一般に微細穴は1つの被加工物に多数加工されることが多く、その加工時間の短縮が要求される。この解決法の一つとして、複数個の穴を同時に加工することが考えられる。放電加工機を小型化できれば複数台を狭い間隔で配置し、同時に微細穴を加工することで全体の加工時間を短縮することが可能となる。本研究は圧電素子の急速変形を利用した超精密位置決め機構（インパクト駆動機構）¹⁾を電極送り機構に利用し放電加工機をペンシルサイズまで小型化し、上記の方法を実現することを目的としている。以下では、提案する超小型放電加工機の電極送り機構と、その加工性能について述べる。

2. 超小型放電加工機の構成

2.1 圧電素子の電極送り機構への応用

放電加工機の電極送り機構に必要な機能は、(1)連続した微小送り機能。(2)電極と被加工物が短絡もしくは異常放電した場合には速やかに引き戻せるサーボ機能。の2点である。

従来の微細放電加工機は、ボールねじ、歯車、モータの組み合わせ、または油圧サーボによって電極を送っているため²⁾、微細穴を開ける加工機でも電極送り機構が大きくなる、慣性のため応答性が悪くなる、ガタなどのために0.1μm以下の電極送り分解能を得ることが困難であるというような問題があった。

従来からの圧電素子の放電加工への応用は、主として電極に振動を与え加工くずの排出を容易にしたり、短絡などに対する応答性を高めることで放電を安定化させることを目的としていた^{3),4)}。圧電素子が電極送り機構自体には用いられなかったのは圧電素子の最大ストロークが

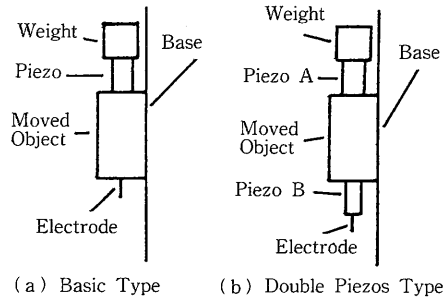


Fig. 1 Electro-Discharge Machine Using Impact Drive Mechanism

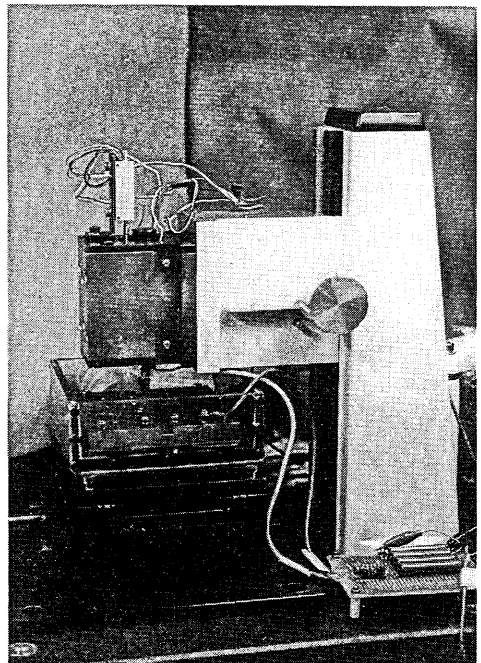


Fig. 2 Photo of Developed Electro-Discharge Machine

*東京大学生産技術研究所 第2部

**東レ・プレシジョン(株)

数十 μm 以下であるためである。筆者らが開発したインパクト駆動機構¹⁾は連続した4nm~数 μm の微小送りが可能で構造が簡単のため、小型化に適し、高速な応答性を持ち、ストロークが無限であるため、電極送り機構に必要な機能を満たすことが期待できる。

これを放電加工機の電極送り機構に利用した場合の概念図を図1に示す。壁面に押しつけられているのが移動体、その上に圧電素子Aを介して接続されているのが慣性体である(図1(a))。インパクト駆動だけでは十分な応答性と分解能が得られない場合に備えて間隙調整用の圧電素子Bを介して電極を接続したタイプを試作した(図1(b))。

2.2 電極送り機構

試作した放電加工機の全体図を図2に、電極送り機構の断面図を図3に示す。送り機構の外形寸法は48 \times 70 \times 86mmである。移動体の一方には圧電素子Aを介して慣性体が接着され、他方には圧電素子Bを介してクイルが接着されている。移動体の質量は電極を含めて235g、慣性体は55gである。ベース、移動体の材質は、SKD11で焼入れをしている。移動体をコイルばねでV面に押し付けることにより摩擦力を得ている。上側の圧電素子Aはインパクト駆動のためのもので、下側の圧電素子Bは間隙

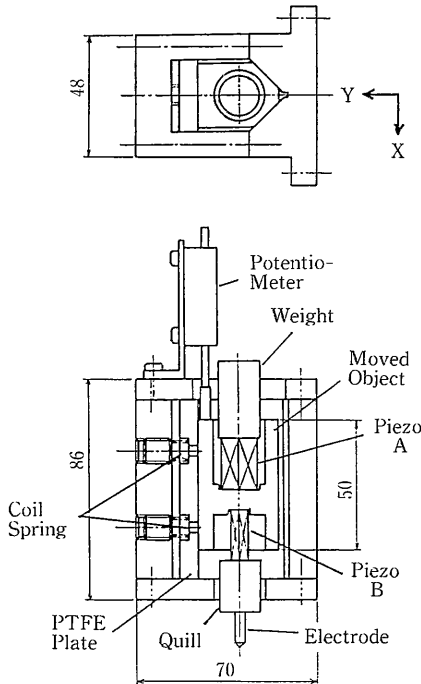


Fig. 3 Sectional View of Electro-Discharge Machine

の微調整を行う場合に使用する。圧電素子はPMN系の積層型で、サイズはAが10 \times 10 \times 20mm、Bが5 \times 5 \times 20mmである。電極は ϕ 1mm以下とし、ピンバイスで保持する。電極送りのストロークは10mmとした。

2.3 インパクト駆動のみによる電極送り

インパクト駆動のみを用いて0.5 μm の送りステップで送った様子を図4に示す。圧電素子Aのみを用いて1000パルスを送った場合の1パルスあたりの送り量-電圧振幅特性を図5に示す。送り量は電圧振幅にほぼ比例するため、電極送り量の調整は電圧振幅のみによって行うことが可能である。送りステップが0.1 μm 、待ち時間が1.0msの場合の速度は、上向き、下向きの場合のどちらも0.08mm/sである。現在、送りステップは0.02 μm から0.6 μm まで、送りパルス周波数は0.1 μm の場合、上向きで2.8kHz、下向きで4.2kHzまで安定して動くことを確認している。待ち時間を短くしたり、送りステップを粗くすることで速度を上げることが可能で、最大速度は上向きで0.4mm/s、下向きで1mm/sである。

2.4 システム構成

システムの構成を図6に示す。コンデンサへの平均充電電流と設定された電流値の大小を比較することにより、駆動信号をパソコンに出力する。パソコンがそれに応じ、

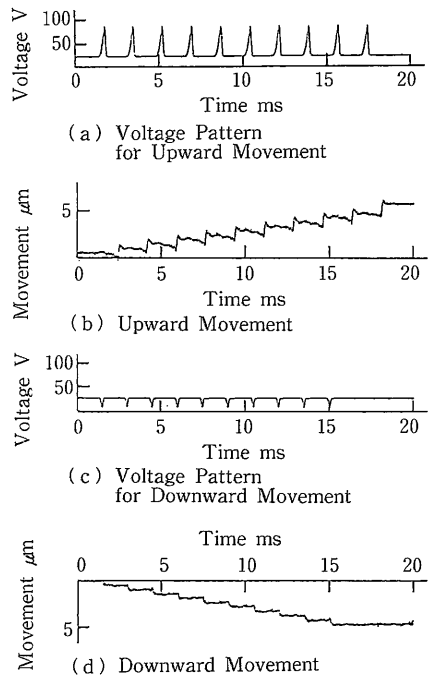


Fig. 4 Example of Movement by Impact Drive Mechanism

研究速報

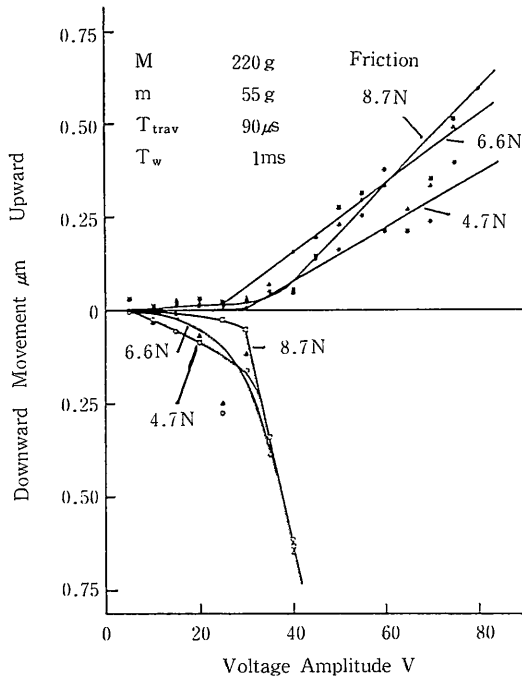


Fig. 5 Relationship between Movement and Voltage Amplitude

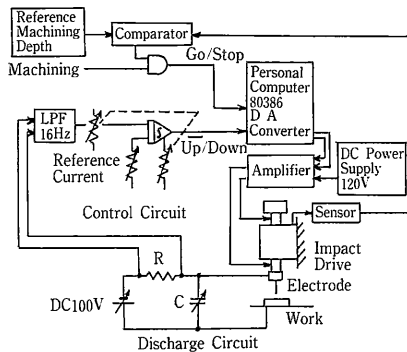


Fig. 6 Diagram of EDM System

D/A変換器，駆動アンプを用いて圧電素子を駆動することで電極を送る。電極と被加工物が短絡したことを検知してから引き戻すまでの最短所用時間は，約0.2msである。加工量と設定量を比較回路で比較し，2つが等しくなれば加工を終了させる。電極の送り量のモニタは，ポテンショメータを用いる。放電回路はコンデンサ回路で，加工電圧は100V以下，抵抗は980Ω，コンデンサは10~3300pFで可変である。電極，被加工物間の浮遊容量はLCRメータで測定すると140pFであった。

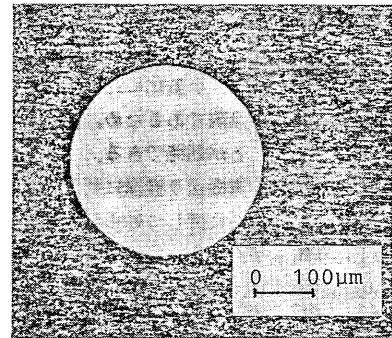


Fig. 7 An Example of Machined Hole

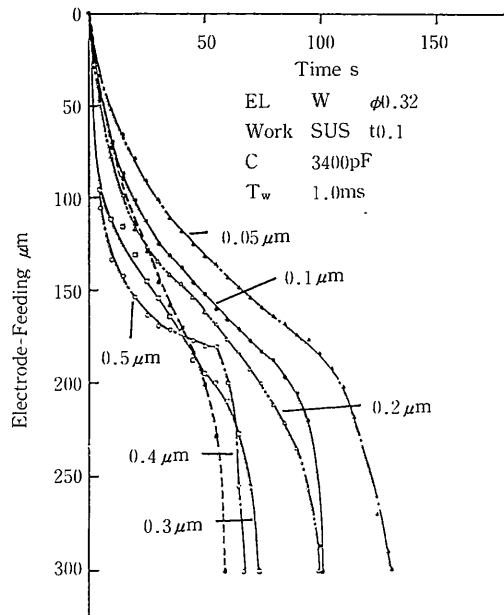


Fig. 8 Examples of Electrode-Feeding

3. 加工性能

コンデンサの容量は3400pF (浮遊容量含む)，電極はφ0.32mmのタングステン線，加工物は厚さ0.1mmのSUS304で，正極性で電極を回転させずに加工した。加工液は灯油で，強制循環はさせていない。加工中に電極の側面が消耗し，送り量が100μmでは完全に貫通しないので，電極は300μmまで送ることにした。同一加工条件下について10個の穴を加工し，加工時間，クリアランス，電極消耗を測定し，その平均を取った。比較した従来機(モータとボールねじによる電極送り)は，送り分解能0.1μm，放電回路は同一のもの，電極はφ0.33mmのタングス

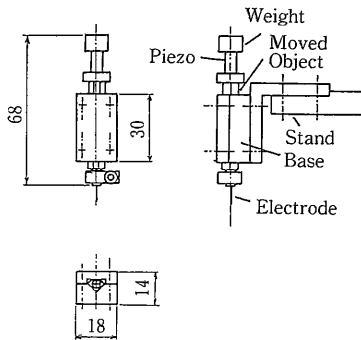


Fig. 9 Pencil-Size Electro-Discharge Machine

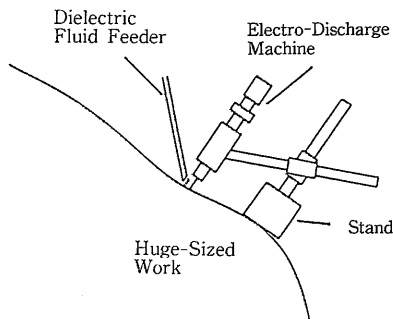


Fig. 10 Machining in a Huge-Sized Work

テン線を使用した。ステップモータの平均駆動周波数は約200Hzである。インパクト駆動¹⁾のみで電極を送り加工した穴の写真を図7に示す。送りステップを0.05~0.5 μm で変化し、インパクト駆動パルスの周波数を750Hzで一定とした場合の電極送りの様子を図8に示す。従来機で電極を回転させない場合、100 μm までの加工時間は64sで、回転させた場合は31sである。本放電加工機による100 μm までの加工時間は、送りステップが0.05 μm の場合以外は30s以下である。300 μm 送る時間は、送りステップが0.4 μm の場合が56sで最短であった。電極消耗は12 μm 、クリアランスは5 μm で、本機と従来機に差はなかった。

4. 超小型放電加工機の応用

提案する放電加工機は構造が簡単のため小型化が可能であり、メンテナンスが容易であるという利点を持っている。さらに小型化した放電加工機(図9)を製作し、同様の加工が可能であることを確認している。これをス

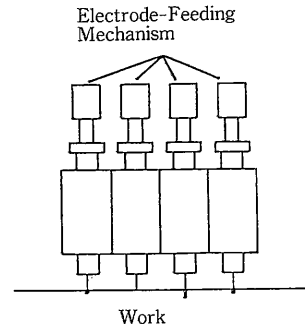


Fig. 11 Multi-Electrode Type

ランド等を用いて設置することで、大型構造物や従来加工できなかった部位への放電加工も可能となる(図10)。この応用形態として

- (1) 同時に多数の微細穴を加工可能な加工機(図11)
- (2) 電極送り機構をロボットに組み込んだ加工機などが考えられる。

5. おわりに

インパクト駆動機構を用いることで放電加工機の送り機構を小型化できた。本送り機構は、電極送りステップが0.02~0.6 μm の間で可変で、インパクト駆動だけで電極を送っても加工可能で、従来機と同程度の加工時間であった。今後は、間隙調整用の圧電素子で電極を駆動させた場合の加工性能、上向きと下向きの電極送りステップを変化した場合の加工性能、深穴の加工に関して検討を行うとともに、実用化を進めたいと考えている。

(1991年8月6日受理)

参考文献

- 1) 樋口俊郎, 渡辺正浩, 工藤謙一: 圧電素子の急速変形を利用した超精密位置決め機構, 精密工学会誌, vol. 54, No. 11 (1988) 2107.
- 2) 電気加工ハンドブック編集委員会: 電気加工ハンドブック, 日刊工業新聞社, (1970) 30.
- 3) 崔小新, 増沢隆久, 藤野正俊: 二次元微振動による放電加工の安定化, 1990年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (1990) 173.
- 4) 田上雄二, 毛利尚武, 斎藤長男, 大竹廣定, 成宮久喜: 放電加工主軸ユニットの開発研究, 昭和63年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (1988) 567.