

# 放電加工による微細・特殊形状加工に関する研究

城門由人  
生産技術部

## Study of Machining Techniques in SEDM

Yukihito KIDO  
Production Engineering Division

### 要旨

本研究は、 $\mu\text{m}$  オーダーの微細軸や微細穴、さらには難加工材料の微細形状部品の作製を汎用の放電加工機で実現する放電軸加工法 (SEDM: Shaft Electrical Discharge Machining) の開発を行うものである。放電軸加工法は、金属板を高精度に切断加工するワイヤ放電加工法を立体部品の加工に応用する技術である。放電軸加工法では、数 mm の丸棒材から数十  $\mu\text{m}$  の微細軸を容易に、かつ、短時間に作製できるため、大径のチャック部分と微細径の部分とがある半径比の大きな多段軸を作製し、形彫放電加工の電極として使用することで微細穴加工を汎用の形彫放電加工機で行うことができるようになる。本報では、放電軸加工法の実用化に向け、放電軸加工技術の高能率化及び放電軸加工装置の安全性の向上について検討したので報告する。

### 1. はじめに

自動車や航空機などの燃料噴射ノズルやプリンタのインクジェットノズルなど機械や電子・電気産業さらには医療関連産業において微細穴や微細形状部品の作製技術が要求されている。現在の優れた産業用機械を利用すれば理想に近い形状寸法の加工が実現できる。しかしながら、そのような優れた装置は一般に特定の要求をクリアするために開発された専用装置であり汎用性が無く、高価である。企業が特定の一事業に専念するのであればそのような専用機を導入すれば問題は解決する。しかしながら、大分県下の中小製造業者は、特定の一事業に特化した企業は少なく、得意とする技術分野で幅広く事業展開しているのが実態である。このような事業形態の企業にとって特化した高価な装置を導入することは決して有益であるとはいえない。むしろ、汎用性の高い装置を導入し、さまざまな要求に対応できることが将来の事業展開を見据えた場合有益であることが多い。いずれにしても、中小企業にとって高額な設備導入は容易なことではない。そうはいっても、産業界の要求には答えていかなければならないため、所有する機器設備を利用して思考錯誤しながら対応しているのが現状である。

そこで、近年要求が多い微細穴加工技術について検討した。現在要求される微細穴は直径数十  $\mu\text{m}$  である。理論上、数  $\mu\text{m}$  ~ 1000nm さらにはそれ以下のレベルとなることがある。しかしながら、このような微細な加工は極めて困難である。数十  $\mu\text{m}$  の穴加工を実現できる技術としてワイヤ放電研削法 (WEDG) による微細軸加工技術

と細穴加工技術を併用する方法がある。この方法は、WEDG により数  $\mu\text{m}$  ~ 数十  $\mu\text{m}$  の微細軸を作製し、それを形彫放電加工の電極 (工具) として穴加工を行い数十  $\mu\text{m}$  の穴を得るものである。この加工法の特徴は、WEDG による微細軸の作製技術である。WEDG は、微細軸を作製することを目的に開発された放電加工技術であり、数  $\mu\text{m}$  の微細軸を高精度に作製することができる技術<sup>(1)</sup>であるが、加工時間が長く、かつ、専用の加工システムが必要となる。現在、WEDG は最新の形彫放電加工機のオプションとして設定でき導入することができる。しかしながら、設定できる形彫放電加工機は最新の高精度加工機に限定されているためベースとなる放電加工機は数千万円、それに数百万円する WEDG システムが加わるため導入コストは膨大となる。

そこで、本研究では既に企業に設置されているワイヤ

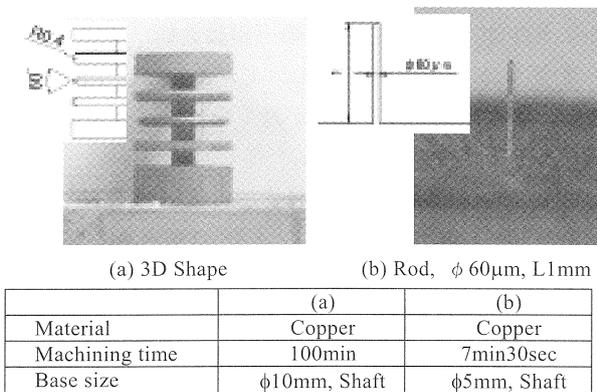


Fig.1 Samples of SEDM

放電加工機で微細軸や3次元形状部品の加工が行える技術として放電軸加工法（SEDM: Shaft Electrical Discharge Machining）を提案し、開発を進めている。ワイヤ放電加工法は、平面の切断加工を高精度に行う技術である。つまり、2次元の高精度加工法である。この技術を3次元の加工に応用するのが放電軸加工技術である（図1）。放電軸加工法には、放電軸加工装置が必要であるが、この装置は汎用のワイヤ放電加工機に設置でき、その他の特殊な設備は不要である。加工原理や加工装置は非常にシンプルで技術導入は至って容易である<sup>(2)(3)</sup>。

本研究では、放電軸加工法の加工効率及び安全性の向上への対策について検討したので報告する。

## 2. 内 容

放電軸加工法は、放電軸加工装置により工作物を回転させ、回転する工作物を形状加工し、微細軸などの立体部品を作製する加工技術である。本報では、放電軸加工法における加工効率の向上への対策及び安全性向上のための放電軸加工装置の開発について報告する。

### 2.1 加工効率の向上について

放電軸加工法は、工作物の回転方向とワイヤ送り方向の関係及び工作物の高回転化で加工が安定することが分かっている<sup>(2)</sup>。本報では、工作物とワイヤガイドとの距離が加工に及ぼす影響について評価した。試験では、工作物と下部ワイヤガイドまでの距離を35mmで固定とし、上部ワイヤガイドを工作物最近点Z=0mmと工作物上方Z=35mmに設定し比較試験を行った。加工条件は、外径8mmの銅製丸棒を直径5mmへ1パス加工、工作物回転数は1000rpm、加工送り速度（ワイヤのXY方向移動速度）は0.25mm/minとした。図2は、それぞれの加工電圧を示す。回転数を1000rpmとしているため加工電圧の振れ幅は比較的小さい。加工は安定している。しかしながら、Z=35mmに比べZ=0mmの方が加工電圧が高いことが分かる。

図3は、加工送り速度と平均加工電圧の関係を示す。加工条件は、Z=0mm、工作物（銅製丸棒）外径8mmから直径5mmへの1パス加工、工作物回転数1000rpmである。図より加工送り速度が速くなれば加工電圧が小さくなることが分かる。

図2よりZ=0mmのとき平均加工電圧は約50V、これに対しZ=35mmでは約38Vである。これに図3の結果を当てはめれば、Z=0mmの場合加工送り速度を約16%向上できることになる。このように、工作物と上部ワイヤガイドの距離を小さくすることで加工送り速度を速くでき、加工時間を短縮することができた。

図4は、上部ワイヤガイドを工作物最近点Z=0mmと

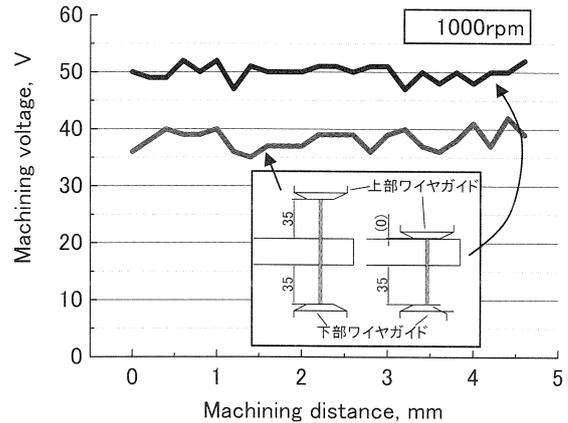


Fig.2 Experimental guide positions in SEDM

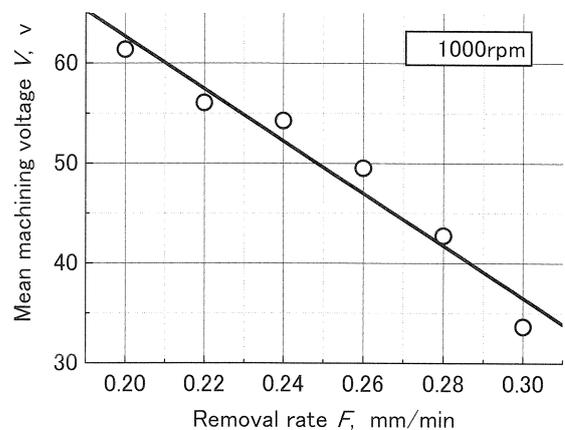
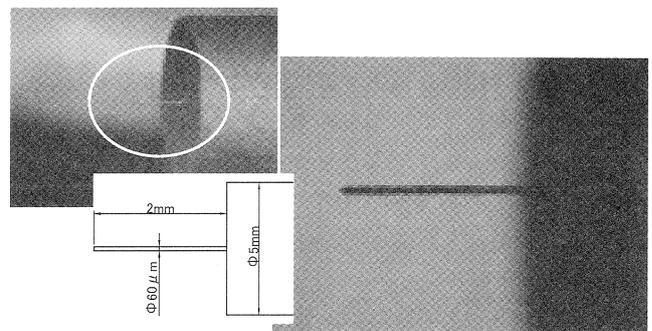


Fig.3 Relation between removal rate and mean machining voltage in SEDM



Material	Copper
Base size [before]	Φ 5mm
Machining size [after]	Φ 60 μ m, L 2mm
Machining Time	7min40sec

Fig.4 Result of SEDM which aimed at improvement in machining efficiency

して直径60μmの微細軸の加工を行った例である。図1(b)のZ=35mmの場合、直径5mmの銅製丸棒を直径60μm、長さ1mmに加工するのに約7分30秒要していたが、本対策によりほぼ同じ時間で2倍の長さの加工が実現で

きた。

## 2.2 放電軸加工装置の開発について

2.1 で示したように工作物とワイヤガイドとの距離が小さいほど加工送り速度を上げることができ、加工時間の短縮化を図ることが可能である。そこで、工作物と上下ワイヤガイドとの距離を最小に設定できる放電軸加工装置の開発を進めている。また、現放電軸加工装置は駆動ユニットの電気モーターや電気配線、回転体や駆動伝達部が剥き出しの状態であり、工作物を 1000rpm 以上で回転させ、加工液を噴きかけて使用する状況を考えれば安全面における改良が必要である。このことから、より安全で高性能な放電軸加工装置の開発を進めている。図 5 は、放電軸加工装置の現モデルと新モデルを示す。新モデルは、駆動モーターや工作物ホルダーなどを本体内部に納め使用時は完全に密閉するタイプに変更した。本体を上下できるようにし、工作物と上下ワイヤガイドの距離を調整できるように改良し、駆動源を電気モーターからエアーマーターに変更するなどして安全性を確保した。また、本体に防水処理を施し、加工液中に浸漬できるようにした。これにより、更なる加工効率の向上が期待できる。

## 3. 結 果

放電軸加工法の加工効率向上には、

- (1) 工作物の回転数制御<sup>(2)</sup>
- (2) 工作物の回転方向とワイヤ送り方向の関係<sup>(2)</sup>
- (3) 工作物とワイヤガイドの距離設定

を的確に行う必要があることが明らかになった。いずれも加工の安定に影響し、(2) は絶対条件である。(1) は高回転になるほど安定し、(3) は工作物-ワイヤガイド隙間距離が小さいほど加工が安定する。本実験では、(3) のみの調整で約 16% の加工速度の改善が認められた。このように、上部のみの隙間の調整で加工効率が向上されたことから下部についても同様に調整することで更なる加工効率の改善が期待できる。また、放電軸加工法に採用している加工液噴掛加工法は、液中で加工する浸漬加工法に比べ 15~20% 程度加工速度が低下することが明らかになっている (ワイヤ放電加工の場合)<sup>(2)</sup>。このことから開発を進めている放電軸加工装置による放電軸加工技術の高効率化が期待できる。

図 6 は、放電軸加工法を利用した微細穴加工例を示す。放電軸加工法で作製した先端直径  $85\mu\text{m}$ 、長さ 5mm、チャッキング部分直径 5mm の微細多段軸を作製し、それを形彫放電加工の電極として穴加工を行った。厚さ 0.3mm の SUS304 プレートに直径  $125\mu\text{m}$  の貫通穴を連続加工した。直径  $85\mu\text{m}$  部の加工時間は約 25 分、穴加

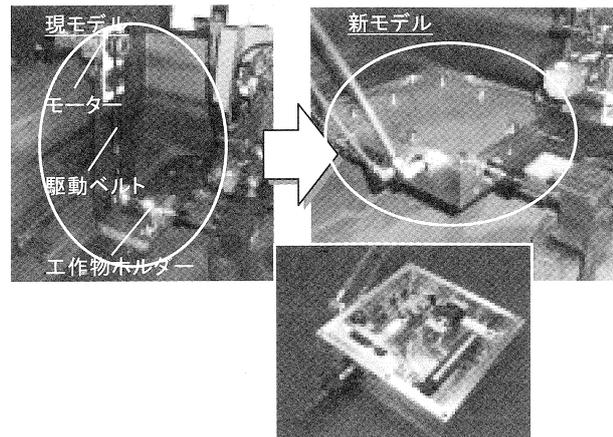
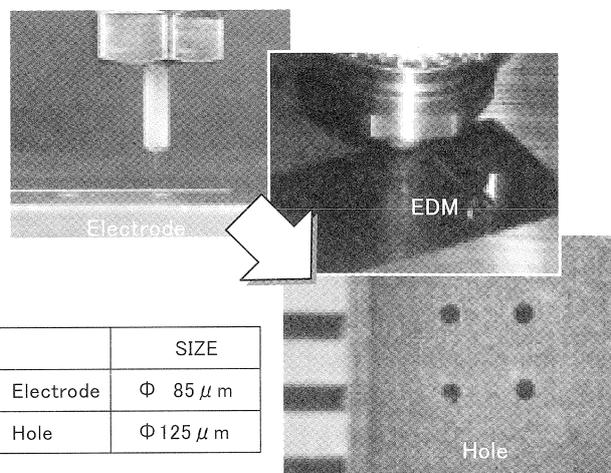


Fig.5 SEDM apparatus



	SIZE
Electrode	$\Phi 85\mu\text{m}$
Hole	$\Phi 125\mu\text{m}$

Fig.6 Hole machining using SEDM

工時間は 1 穴を数十秒で加工できた。

本研究は、県内企業からの直径  $40\mu\text{m}$  の穴加工の要求を実現するために着手したものである。したがって、放電軸加工法では、直径  $40\mu\text{m}$  以下の穴加工が可能な微細軸電極を作製する必要がある。開発を進めている放電軸加工装置により直径  $20\mu\text{m}$ 、長さ 2mm の微細軸電極を 5 分以内で作製し、直径  $40\mu\text{m}$  以下の穴を作製することを目標に技術開発を進める予定である。

## 文 献

- 1) 齋藤長男・毛利尚武・高鷲民生・古谷政典, 放電加工技術-基礎から将来展望まで, 日刊工業新聞社, (1997),113.
- 2) 城門由人, 放電軸加工に関する研究, 日本機械学会 No.02-25 第 4 回生産加工・工作機械部門講演会講演論文集 (2002.11 犬山), pp.125-126
- 3) 城門由人, 放電軸加工技術に関する研究, 平成 14 年度大分県産業科学技術センター研究報告, pp.71-74