

# 放電加工による小径針側面への多数細穴加工\*

和合 健\*\*、下河邊 秀行\*\*\*

放電加工条件が不明な非鉄材小径針の側面に放電加工により多数個の貫通細穴を加工する技術の構築を図った。その結果、10個の貫通穴直径のばらつき $\sigma 0.9\mu\text{m}$ 、低電極消耗率32%を達成し、その時の加工速度は1穴あたり6分46秒であった。  
キーワード：細穴放電加工、非鉄材料、鍼灸針、パラメータ設計

## Electrical Discharge Machining for Processing Multiple Fine Holes on Side of Thin Needle

Takeshi Wago and Hideyuki Shimokobe

We describe the development of a complete processing technique to generate numerous small-diameter holes by electrical discharge machining (EDM) for Co-Cr-Mo-alloy needles, for which processing conditions are unknown. The results reveal the many advantages of EDM, which allow precision machining of holes with hole-diameter variance  $\sigma = 0.9 \mu\text{m}$  and a low electrode-wear ratio (32%; defined as tool consumption length divided by processing hole depth). The processing efficiency was high at 6 min 46 s per hole.

key words : electrical discharge machining of minute hole, Non iron material, acupuncture-and-moxibustion needle, parameter design

### 1 緒言

製造部門では、設計部門の高機能製品の設計要求に対応するための高度な加工技術が求められている。ここでの要求事項は図1に示すとおり「 $\phi 0.25\text{mm}$ 程度の非鉄材小径針側面の先端から根本方向へ15mmの範囲にできるだけ多個数の穴を開けること」であった。この要求事項を満足するためには、①曲げ剛性が低い小径針に対して加工力が小さく、②小径工具が利用できる加工方法であることが必要と考えた。放電加工は非接触加工法でありこの二つの要件を満たしていた。

ここでは、非鉄材小径針側面へ多数個穴を製作するための技術構築に取り組んだ。

### 2 実験計画

#### 2-1 基本機能

基本機能を以下に考える。電極を鉛直下方向の加工送り小径針に当たった時に電極径と全く同等形状の貫通穴を生成させる動作を第一工程とする。小径針の中心軸方向と平行に等間隔ピッチで電極を移動させ位置決めする動作を第二工程とする。この第一工程と第二工程を順序良く正確に繰り返すことができれば多数個細穴が生成できる。次に各工程を分解してみる。第二工程は加工機械のNC制御と機械的位置決め精度が十分に機能することを前提とすると、あとは単に小径針の中心軸を加工機械

の駆動軸に平行に設置しワーク座標系が定義できれば良い。第一工程は電極径と穴径の転写性でありその両者の容積が外乱誤差の影響下においても線形的な相互関係を持ち、かつその加工速度が速いことが良い。

#### 2-2 入出力関係

小径針径はその用途に応じて異なることから、そこに生成する穴径も小径針径に応じて変更できる必要がある。穴径を適宜変化させる加工方法は揺動で達成できる。揺動を用いることで $\phi 0.1\text{mm}$ の棒電極を使用した場合には $\phi 0.1\text{mm}$ 超～ $\phi 0.2\text{mm}$ 程度の細穴が生成できる。ここでは図2に示すとおり入力を理想除去量( $\text{mm}^3$ )、出力を実除去量( $\text{mm}^3$ )として誤差因子を揺動半径( $\text{mm}$ )とした。感度 $\beta$ が大きいことで加工能率が高く、SN比が大きいことで設定した穴径を安定して生成できる。

### 3 因子と水準

#### 3-1 信号因子

信号因子は表1に示すとおり理想除去量とし水準1に $0.0079\text{mm}^3$ を設定した。信号因子を多水準で設定することで頑健性の高い動特性を実現できるが、ここでは実験能率を考慮して信号因子の水準を一つとした。

#### 3-2 制御因子

制御因子は直交表L18への割り付けを前提として表2に示す8種類の因子を設定した。因子A、因子B、因子

\* 平成22年度 基盤的・先導的技術研究開発事業、中東北3県公設試技術連携推進会議（共同研究）

\*\* 材料技術部（現 素形材技術部）

\*\*\* 岩手大学工学部

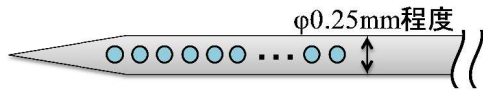


図1 加工空想図

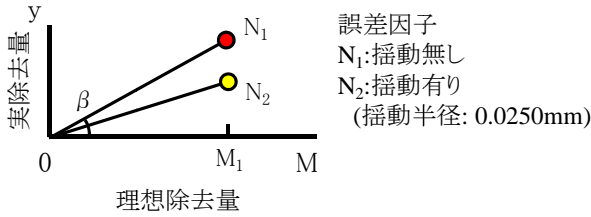


図2 入出力関係

Cは微細加工電源を調整する回路である。因子Eの補助電源(AUX)はコンデンサ電源の場合は充電抵抗( $\Omega$ )となりこの数値を変更することで充電時間、所謂 OFF 時間が制御できる。因子FのF回路(GAP)はコンデンサ電源の場合は付加電圧(V)となり与えるエネルギーの大きさを示す。因子Gの加工調整(GAIN)は異常放電回避のための放電時逃げ後の戻り速度を設定するもので数値が大きい程加工物に接近する速度が速くなる。

### 3-3 誤差因子

誤差因子は穴径変更時の動特性的安定性を高めるために二つの水準を設定した。水準1は揺動半径が0mmの場合で水準2は揺動半径が0.0250mmの場合である。水準1と水準2の理想除去量を等しくするために下加工送り量を水準1で0.1000mm、水準2で0.4444mmに設定した。

### 3-4 共通の加工条件

共通の加工条件を表3に示す。加工機械は微細加工用形彫放電加工機(三菱電機製EDSCAN8E)を使用した。この加工機械は微細加工に特化した仕様になっており特に因子A、因子B、因子Cで設定した微細加工回路を持っている。電極は $\phi 0.1\text{mm}$ 銅パイプ電極とし、小径電極を保持しパイプ管から加工液が噴出できるノック式ホルダで電極を保持した。加工物是非鉄系材料とし、平坦な上端面に対して細穴加工をした。加工穴数は信号因子1水準 $\times$ 誤差因子2水準 $\times$ 直交表L18での実験行数 $18=36$ 個となる。

## 4 実験結果及び考察

### 4-1 加工結果

図3に加工深さと電極消耗率の実験番号毎の結果を示す。電極消耗率とは電極消耗長さ(mm)/加工深さ(mm) $\times 100(\%)$ で表される除去深さに対する電極消耗長さの比である。図3から加工深さは電極消耗率と反比例の関係であることがわかる。また、誤差因子N2の揺動有りの場合は実験番号による加工深さの差が小さいことが分かる。図4に加工時間と電極消耗率の結果を示す。加

表1 信号因子

入出力関係	水準1
入力M:理想除去量( $\text{mm}^3$ )	0.0079
出力y:実除去量( $\text{mm}^3$ )	$y_1$

表2 制御因子

制御因子	水準		
	1	2	3
A マイクロSF回路	ON	OFF	—
B コンデンサ回路	ON	OFF	ON
C 電圧LOW回路	ON	OFF	ON
D ガイドの高さ( $\mu\text{m}$ )	200	100	50
E 補助電源(AUX)	3	6	9
F F回路(GAP)	14	12	10
G 加工調整(GAIN)	10	25	40
H サーボ電圧(SV)	5	3	0

注) 因子E,F,G,Hの数値はノッチ

表3 共通の加工条件

項目
電極: $\phi 0.1\text{mm}$ 銅パイプ電極
加工材: CCM合金 (幅20mm $\times$ 奥行20mm $\times$ 高さ20mm)
加工液: メタルワークスEDF-K2(新日本石油)
加工液噴出強さ: 7/10
ホルダ: RCH-03LA(菱電工機)
触れ抑制ガイド: セラミック製 $\phi 0.1\text{mm}$ 用
Z軸原点: 加工材表面
初期のZ座標: 0.0500mm
回転数: 200rpm
加工経路: 単純下送り

工時間と電極消耗率では相互の関連性は見られない。

### 4-2 SN比の算出

この実験計画では各因子間の相性が合わない組み合わせで非常に長時間の穴加工の場合があった。そのために最初に設定した信号因子3因子及び誤差因子2因子から因子数を縮小せざるを得ずここでの実験計画に落ち着いた。信号因子と誤差因子の数を十分に実験に反映できないと十分な頑健性が得られないと言われている。その対策として表4に示す誤差因子の効果を活用した従来のSN比算出に併せて分散型のSN比<sup>1)</sup>を算出して合わせて最適条件を求めた。各SN比算出方法による要因効果図を図5に示す。誤差因子型の最適条件はA1、B1、C1、D2、E1、F3、G2、H3であり、分散型の最適条件はA1、B1、C1、D1、E2、F3、G1、H3となった。二つのSN比算出方法で結果が異なる因子を本文中で太字斜体及び図5中に丸・四角で囲み、それは因子D:ガイド高さ、因子E:補助電源(AUX)、因子G:加工調整(GAIN)であった。最適条件の判定は高精度、高能率が得られる水準を選択することとし、最終的な最適条件はA1、B1、C1、D2、E2、F3、G2、H3を決定した。最適条件では微細加工回路の因子A、因子B、因子CがいずれもONの場合にSN比が高くなっており $\phi 0.1\text{mm}$ 程

## 放電加工による小径針側面への多数細穴加工

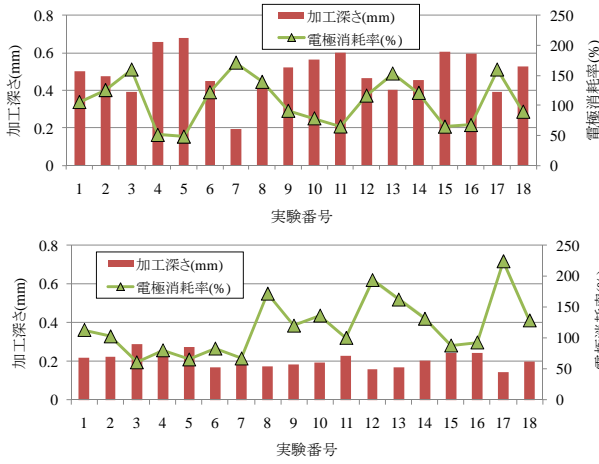


図3 加工深さと電極消耗率 (上: N1、下: N2)

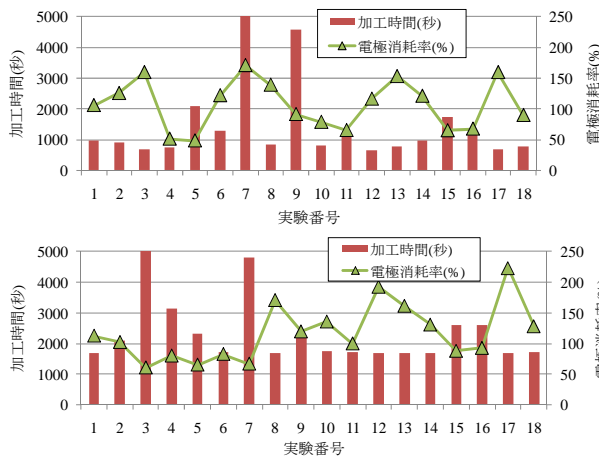


図4 加工時間と電極消耗率 (上: N1、下: N2)

表4 SN比の算出方法

誤差因子型SN比	実験番号行内で誤差因子のL1とL2のばらつきと感度からSN比を算出
分散型SN比	誤差因子を共通外乱と位置付けて、制御因子の水準毎の実験番号行のばらつきと感度を利用してSN比を算出

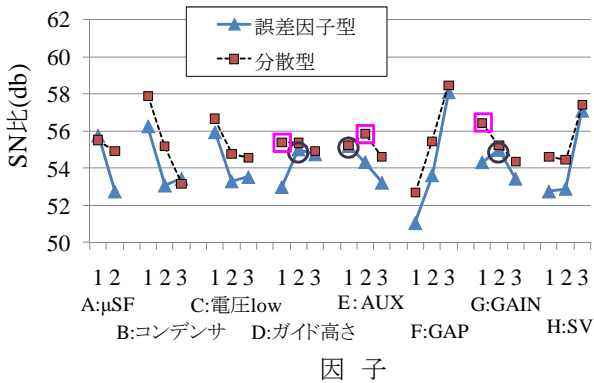


図5 SN比の要因効果図

度の細穴加工を行う場合での加工安定化に必須機能であることを示している。特に、因子 F : F 回路(GAP)で因子内の水準間の効果が大きくエネルギーを小さくする方向でSN比が大きくなっている。

### 4-3 確認実験

加工物を非鉄系材料としてその平坦な上端面に対して表5に示す最適条件と現行条件で細穴加工を行い得られた加工結果を図6に示し、利得を表6に示す。ここで現行条件は、加工機械製造者が示す電気加工条件、所謂Eパックを基に微細放電回路(因子 A、B、C)を加えたφ0.1mm 細穴加工条件とした。SN比では推定値の利得が17.7db、実験値の利得が3.3dbとなりその差は14.4dbとなり再現しなかった。感度では推定値の利得が2.4db、実験値の利得が2.0dbとなりその差は0.4dbとなり再現したが感度の絶対値が小さいためその信頼性は低い。

### 5 検証実験

オフライン実験により最適条件が得られたことから、この加工技術を利用して小径針側面に連続的に10個の穴加工を試みた。加工物はφ0.25mmの非鉄系小径針で穴位置ピッチは0.4mm、その他の加工条件はオフライン実験と同等とした。加工後の小径針の写真を図7と図8

表5 確認実験での設定値

因子	項目	最適条件	現行条件
A	マイクロSF回路	ON	ON
B	コンデンサ回路	ON	OFF
C	電圧LOW回路	ON	ON
D	ガイドの高さ(μm)	100	50
	EパックNo.	5029	1951
	回路選択	SF	SF
E	補助電源: AUX	6	3
	極性切換	(-)	(-)
	加工セッティング: IP	0	0
	パルス幅: ON	0	0
	休止時間: OFF	0	0
F	F回路: GAP	10	14
G	加工調整: GAIN	25	40
	上昇距離: JUMP	0	0
	上昇距離/降下時間: JU/JD	0 ↑ 1 ↓	0 ↑ 1 ↓
H	サーボ電圧: SV	0	0

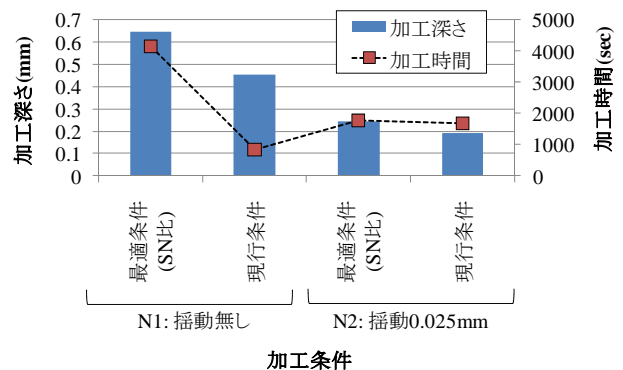


図6 確認実験の加工結果

表6 利得

項目	SN比(db)		感度(db)	
	推定値	実験値	推定値	実験値
最適条件(SN比)	67.3	57.8	-3.2	-3.2
現行条件	49.6	54.5	-5.6	-5.2
利得	17.7	3.3	2.4	2.0

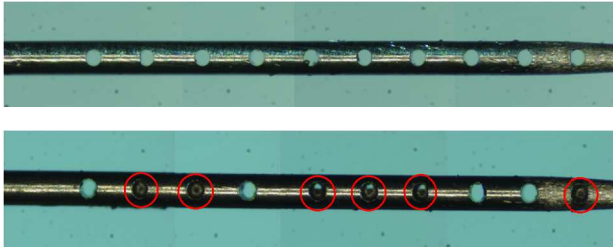


図7 検証実験の写真  
(上：最適条件、下：現行条件)

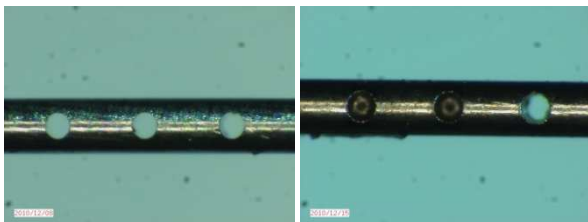


図8 検証実験の写真(拡大図)  
(左：最適条件、右：現行条件)

表7 検証実験の結果

1穴あたりの平均値(穴個数:10個)		
項目	最適条件	現行条件
穴径(mm)	0.1087	0.1245
放電ギャップ(直径, μm)	8.7	24.5
加工時間(h:m:s)	0:06:46	0:00:25
全10個穴の加工結果		
項目	最適条件	現行条件
総電極消耗長さ(mm): p	0.8162	2.1896
総加工深さ(mm): q	2.5000	2.2623
総電極消耗率(%): p/q×100	32.6	96.8
穴径のばらつき(σ, μm)	0.9	3.2
総加工時間(h:m:s)	1:07:43	0:04:11

に示す。最適条件では鋭利なエッジで真円度が良好な穴が全10個生成されているのがわかる。対して現状条件では10個中6個で穴が貫通していない。また現状条件では

穴のエッジがダレて穴形状も歪んでいることがわかる。このことから現状条件では安定的な加工を目的とした場合はその目的に適する加工条件とは言えない。

次に検証実験での加工結果を表7に示す。最適条件は穴径の平均値がφ0.1087mmとなりその結果、放電ギャップは直径で8.7μm、穴径のばらつき(σ)は0.9μmとなり数マイクロメートル台の精密な結果となった。さらに総加工深さは小径針径φ0.25mm×10個=2.5mmのところ総電極消耗長さが0.82mmの結果、総電極消耗率は32.6%と算出され加工安定性が図れる低電極消耗の加工が実現されていた。対して現状条件は穴径の平均値がφ0.1245mmとなり放電ギャップは直径でφ24.5μm、穴径のばらつき(σ)は3.2μmであった。総加工深さが2.3mmのところ総電極消耗長さは2.2mmの結果、総電極消耗率が96.8%であり電極消耗が最適条件より多い。ただし特筆すべきは加工時間が1穴あたりでは最適条件が0:06:46(h:m:s)であるのに対し現状条件では0:00:25(h:m:s)であり加工速度が非常に速い。現状条件の不貫通問題は加工操作技術で回避出来れば個々の目的に応じた加工安定性重視または加工速度重視など目的別の穴加工方法が選択できる可能性が見られた。

## 6 結 言

φ0.25mmの小径針に多数個細穴を放電加工で生成する加工技術の構築を行った。その結果、以下の知見が得られた。

- (1) オフライン設計で得られた最適条件で確認実験を行った結果、推定値と実験値の利得の差は14.4dbとなり再現しなかった。
- (2) φ0.25mmの小径針径にφ0.1mm銅パイプ電極で10個の穴加工を行った結果、最適条件では総電極消耗率32.6%で全穴貫通による加工安定性を達成した。ただし、現状条件では不貫通穴6個が見られたが加工時間が0:00:25(h:m:s)/個と非常に速い加工速度が得られたので加工安定性と加工速度の目的に応じた穴加工方法が選択できる可能性が見られた。

## 文 献

- 1) 矢野宏:品質工学計算法入門、日本規格協会、p262-266 (1998)