

T法(1)による細穴放電加工のパラメータ設計

和合 健**、飯村 崇**、黒澤 裕也***、触沢 晃***

細穴放電加工のパラメータ設計をT法(1)の放電エネルギー評価で行った。それは、電圧を特性値としてT法(1)による最適電圧波形のパターンマッチングによるパラメータ設計である。その結果、高い相関係数が得られず正確な最適条件が求められなかった。今後の課題は、短時間かつ動特性評価に有利な放電エネルギー評価の基本機能の確立である。

キーワード：細穴放電加工、放電エネルギー、パラメータ設計、T法(1)

Parameter Design of Electrical Discharge Machining of Minute Hole by T method (1)

WAGO Takeshi, IIMURA Takashi, KUROSAWA Yuya and FURESAWA Akira

Parameter design on electrical discharge machining of minute hole was experimented to estimate for the electrical discharge energy by T method (1). The parameter design was determined combination of the optimum conditions to calculate using pattern matching of good condition voltage wave on working by T method(1). As a result, it was not possible to determine the accurate combination of the optimum conditions, because of high correlation coefficient was not obtained. Next task was establishment of the basic function on electrical discharge energy evaluation that has advantage for high efficient experiment and dynamic characteristics evaluation.

key words : electrical discharge machining of minute hole, electrical discharge energy, parameter design, T method(1)

1 緒 言

放電加工の高精度加工法は作業者の固有技術となっており、端的に言えば異常放電を回避するために高純度加工液を維持する掃除技術が最大の固有技術とも言われている。最適な電気条件は、Eパック(製造者推奨値)で示されるが、加工状況に応じたより最適な電気条件を使用者独自で設定できれば高精度化や高能率化が獲得できる。しかし、その設定方法は作業者の勘と経験に頼られている。先の報告書¹⁾では、放電加工にT法(1)を適用した場合のメンバー配置と除去量予測精度の関係を考察した。

ここでは、パラメータ設計により細穴放電加工の最適条件の構築を試みた。特にT法(1)を使用してエネルギー²⁾を入出力関係とした場合に取り組んだ。

2 実験方法

2-1 細穴放電加工の入出力関係

切削加工の場合は、入力したエネルギーが直接的に作用して機械的強さが上位の刃物が下位の加工物を物理的に除去するため、加えたエネルギーが切削抵抗や電動機負荷となり直接的に表れる。

一方、放電加工の場合は、入力したエネルギーにより電極と加工物の間隙で放電現象により双方を溶解するため入力エネルギーが加工物の除去のみに使用されず、あるいは電極消耗の促進のみに働く場合もある。さらに、適正なアーク柱の生成にはその加工状況に応じた適量の入力エネルギーが必要であるため、入力エネルギーの大小だけで議論できない。その結果、ここでの入出力関係は「除去体積×時間」として良好な細穴放電加工が行われているエネルギー波形のパターンマッチングが唯一の最適条件の判定手段であり、T法(1)による評価が適する。

2-2 放電エネルギーの測定

放電エネルギーで細穴放電加工を評価する場合の特性値は、極間電圧(以下、電圧という)が予測精度が高いことが分かっている¹⁾。電圧測定は、微細放電加工時のモニタリングのために既設されていた極間電圧出力端子を使用した。高周波の極間電圧を記録するために100MS/sのA/D変換器(NATIONAL INSTRUMENTS、NI USB-5133)を使用し、サンプリング周期は10nsとした。

* 基盤的・先導的技術研究開発事業(IMY連携)

** 材料技術部

*** 岩手大学工学部

3 T法(1)によるパラメータ設計

3-1 T法(1)の配列

細穴放電加工に影響の大きい有意因子を抽出することを目的にT法(1)により項目診断を行った。T法(1)の項目配置を表1に示す。T法(1)の単位空間と信号データは直交表L18により18通りの細穴放電加工を行い、図1に示す電圧波形を得た。この電圧波形から平均的な除去体積の実験番号6個を単位空間、それ以外の12個を信号データとした。特性値は電圧として項目1~25に電圧、項目26~30に制御因子A~Eを配置し、真値は除去体積 mm^2 とした。未知データの項目はあらたに直交表L9による9通りの細穴放電加工を行い設定した。ただし、項目診断では未知データは計算には使用されず、未知データは予測真値(mm^3)と実測値(mm^3)の比較による予測精度の検証で使用されるものである。

3-2 因子と水準

単位空間と信号データに用いた直交表L18の制御因子と水準を表2に示す。信号因子は加工時間を30分の1信号とした。誤差因子は設定しなかった。直交表L18実験の加工材はSKH51(竹内型材研究所、THF51)を使用した。電極は $\phi 0.1\text{mm}$ の銅パイプ電極、スラッジ除去はパイプ穴からの加工液噴出、振れ抑制案内の高さは加工物表面から $50\mu\text{m}$ とした。未知データに用いた直交表L9の制御因子と水準を表3に示す。因子Hは表4のとおり調合して設定し、その他の加工条件は直交表L18実験と同等である。放電加工機は三菱電機製EDSCAN8Eを用いた。

3-3 T法(1)による解析

本研究で用いたT法(1)の解析手順³⁾の概要を以下に示す。本解析には(株)オーケン製T法for Windows (T-006a)を利用した。手順1は、単位空

表1 T法(1)のデータの配置

単位空間											
項目	項目1	項目2	...	項目n	...	項目n+5	真値				
特性値	電圧1	電圧2	...	電圧n	M111	M113	M115	回転速度	電気条件	除去体積	
-	Y_{0E1}	Y_{0E2}	...	Y_{0En}	Y_{0A}	Y_{0B}	Y_{0C}	Y_{0D}	Y_{0E}	M_0	
信号データ											
項目	項目1	項目2	...	項目n	...	項目n+5	真値				
特性値	電圧1	電圧2	...	電圧n	M111	M113	M115	回転速度	電気条件	除去体積	
1	Y_{E11}	Y_{E21}	...	Y_{En1}	Y_A	Y_B	Y_C	Y_D	Y_E	M_1	
2	Y_{E12}	Y_{E22}	...	Y_{En2}	Y_A	Y_B	Y_C	Y_D	Y_E	M_2	
3	Y_{E13}	Y_{E23}	...	Y_{En3}	Y_A	Y_B	Y_C	Y_D	Y_E	M_3	
...	Y_A	Y_B	Y_C	Y_D	Y_E	...	
k	Y_{E1k}	Y_{E2k}	...	Y_{Enk}	Y_A	Y_B	Y_C	Y_D	Y_E	M_k	
未知データ											
項目	項目1	項目2	...	項目n	...	項目n+5	真値				
特性値	電圧1	電圧2	...	電圧n	M111	M113	M115	回転速度	電気条件	除去体積	
-	Y_{E1}	Y_{E2}	...	Y_{En}	Y_A	Y_B	Y_C	Y_D	Y_E	M	

表2 直交表L18の制御因子

因子	水準		
	1	2	3
A μSF 回路 (M111)	ON	OFF	-
B コンデンサ回路 (M113)	ON	OFF	ON
C 電圧LOW設定 (M115)	ON	OFF	ON
D 回転速度 (r/min)	100	200	400
E 電気条件 (Eバック)	E855	E1951	E1952
F 揺動半径 (μm)	50	55	60

表3 直交表L9の制御因子

因子	水準		
	1	2	3
H 調合した微細放電回路	H1	H2	H3
I 回転速度 (r/min)	100	200	400
J 電気条件 (Eバック)	E855	E1951	E1952
K 揺動半径 (μm)	50	55	60

表4 直交表L9の因子Hの調合

水準	微細放電回路		
	M111	M113	M115
H1	OFF	ON	OFF
H2	OFF	OFF	OFF
H3	ON	OFF	ON

間と信号データを定義し基準化する。ここで表1のnの行が項目でkの列がメンバーである。手順2は、単位空間と信号データを使用して信号値に対する比例式の比例定数 β とSN比 η を項目毎に算出する。以下に例として電圧の項目1についての計算方法を式(1)~(7)に示す。ここで、 r は有効除数、 M_i は基準化した信号データの出力値(真値)、 X_{E1i} は基準化した信号データ、 S_{T1} は全変動、 $S_{\beta 1}$ は比例項の変動、 S_{e1} は誤差変動、 V_{e1} は誤差分散である。

$$r = M_1^2 + M_2^2 + \dots + M_i^2 \quad (1)$$

$$S_{T1} = Y_{E11}^2 + Y_{E21}^2 + \dots + Y_{E1n}^2 \quad (f=1) \quad (2)$$

$$S_{\beta 1} = \frac{(M_1 Y_{E11} + M_2 Y_{E21} + \dots + M_i Y_{E1i})^2}{r} \quad (f=1) \quad (3)$$

$$S_{e1} = S_{T1} - S_{\beta 1} \quad (f=l-1) \quad (4)$$

$$V_{e1} = \frac{S_{e1}}{l-1} \quad (5)$$

$$\beta_1 = \frac{M_1 Y_{E11} + M_2 Y_{E21} + \dots + M_i Y_{E1i}}{r} \quad (6)$$

$$\eta_1 = \begin{cases} \frac{1}{r} (S_{\beta 1} - V_{e1}) & (S_{\beta 1} > V_{e1}) \\ 0 & (S_{\beta 1} \leq V_{e1}) \end{cases} \quad (7)$$

手順3は、信号の項目毎のメンバーから算出したSN比(db) η_k 、と比例定数 β_k を利用して未知データの出力の総合推定値 \hat{M}_i を式(8)により算出する。

$$\hat{M}_i = \frac{\eta_1 \times \frac{y_{1i}}{\beta_1} + \eta_2 \times \frac{y_{2i}}{\beta_2} + \eta_3 \times \frac{y_{3i}}{\beta_3} + \dots + \eta_k \times \frac{y_{ki}}{\beta_k}}{\eta_1 + \eta_2 + \dots + \eta_k} \quad (8)$$

ここで、 \hat{M}_i は予測真値(mm^3)、 η_k はSN比(db)、 β_k は比例定数、 k は項目数、 i は未知データ数、 y_{ki} は未知データ(V、A、VA)である。手順4では、項目の重要度を診断する。2水準系の直交表を用いてその項目のSN比を使用した場合、使用しない場合により総合推定のSN比を算出しその項目の有意性を判定する。

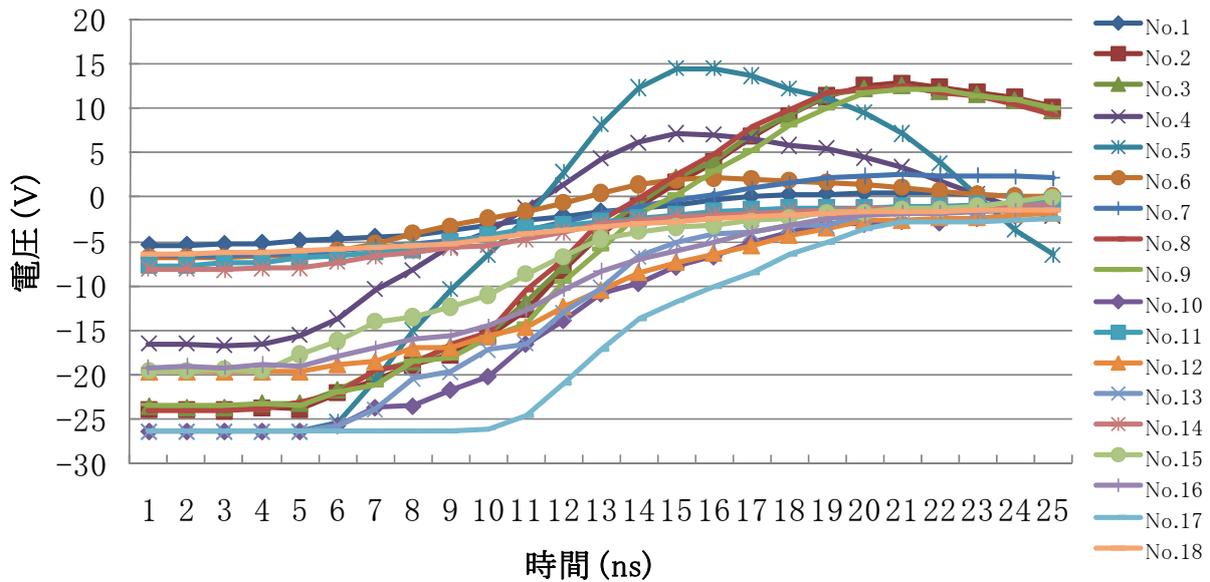


図1 直交表 L18 の放電加工中の電圧波形

4 実験結果及び考察

4-1 項目診断

特性値を電圧として項目診断を行った結果を図2に示す。ここでの項目診断は、1:その項目を使用する、2:その項目を使用しないと設定したので、左上がりである項目を有意と判定し、その差が利得となり、利得が大きいほどその項目効果が大きいと判定する。その結果、5種類の全ての制御因子で左上がりとなり有意と判定された。利得の大きい因子の順位は、①回転速度(利得 5.64db)、②M113(利得 5.47db)、③電気条件(利得 5.33db)、④M115(利得 0.18db)、⑤M111(利得 0.08db)となった。

4-2 除去体積による評価

除去体積を特性値として因子毎の工程平均(感度 β)を算出し図3に示した。その結果、因子内の水準間の差が大きい順位は、①電気条件(水準差 0.0186mm³)、②M113(水準差 0.0022mm³)、③M111(水準差 0.0020mm³)、④M115(水準差 0.0013mm³)、⑤回転速度(水準差 0.0007mm³)となった。T法(1)の項目診断と除去体積による因子毎の工程平均(感度 β)を比較したところ、全く異なる結果が算出された。

4-3 T法(1)の予測精度の検証

直交表 L9 により取得した電圧値を未知データに配置して式(8)により算出した予測真値(mm³)と実測値(mm³)から相関係数を算出し図5に示した。相関係数は 0.61 となり予測精度は低い結果となった。

4-4 実測した電極消耗率による評価

図4は直交表 L9 での実験結果から加工深さと電極消耗率を同時にプロットした図である。良く観察すると実験番号3、5、7で電極消耗率が小さい場合に加工深さが大きくなっており、ここで共通する因子は表5から因子H:調合した微細放電

回路の H3 だった。H3 の組み合わせは M111 (μ SF 回路): ON、M113 (コンデンサ回路): OFF、M115 (電圧 LOW 設定): ON であり加工エネルギーを弱く作用させる組み合わせであった。つまり、高効率の細穴放電加工を実現するためには大きな放電パワーと低電極消耗率の両立が必要である。

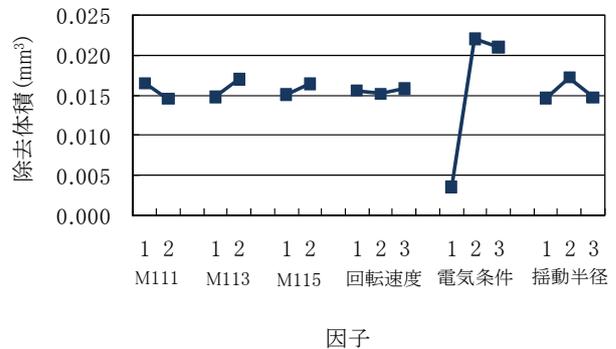


図3 除去体積による因子毎の工程平均(感度 β)

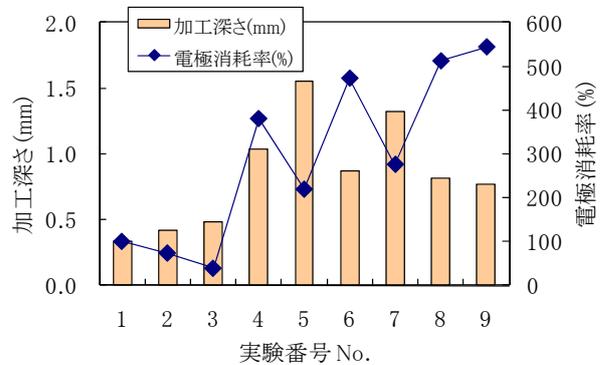


図4 加工深さと電極消耗率

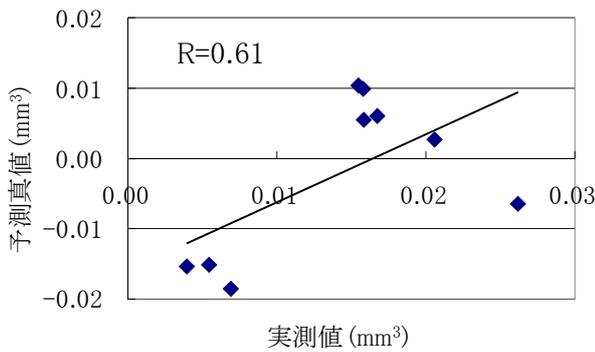


図5 予測真値と実測値の相関係数

表5 直交表 L9 の組み合わせ

No.	微細放電 ノッチ	回転速度 (r/min)	電気条件	揺動半径 (μ m)
1	H1	100	E855	50
2	H2	200	E855	55
3	H3	400	E855	60
4	H2	400	E1951	50
5	H3	100	E1951	55
6	H1	200	E1951	60
7	H3	200	E1952	50
8	H1	400	E1952	55
9	H2	100	E1952	60

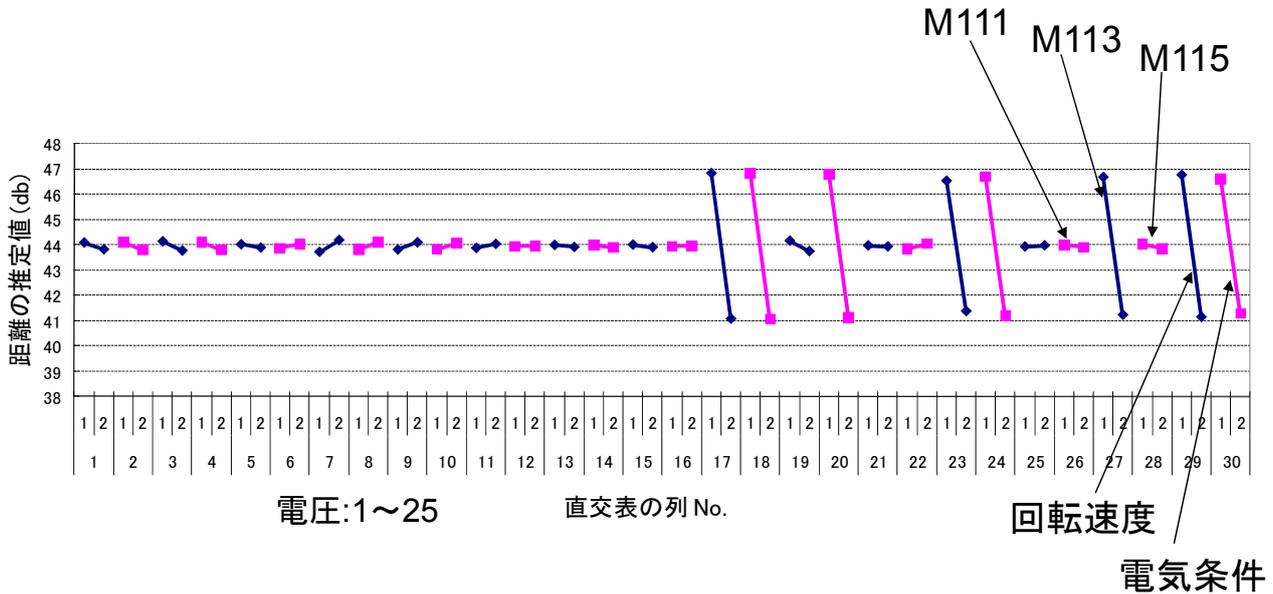


図2 項目診断の結果

4-5 総合判定

電圧波形による項目診断、除去体積による因子毎の工程平均 (感度 β)、加工深さと電極消耗率のプロットの3つの方法を用いて有意因子の判定と最適条件決定を行った。これらの結果を総合的に判定すると $\phi 0.1\text{mm}$ 細穴加工時の最適条件は、電気条件 (E パック) の初期設定値 E1951 を使用し、4-4 で示した微細放電回路 M111:ON、M113:OFF、M115:ON の組み合わせでありこれは低電極消耗に働く水準であった。図2の項目診断では M113 で有意差が大きく判定されており M113 のコンデンサ回路を ON にすると電極消耗が促進される結果を適切に表していた。対して図2では回転速度の有意差は大きく判定されているが、図3から回転速度の効果は小さいことが示され、この結果回転速度の効果は小さく図2の項目診断で間違った判定が為されていると判断した。T法(1)の電圧波形のパターンマッチングでは正確な項目診断が行えなかった理由は、相関係数が0.61と低く算出され高精度での予測が出来ていないためである。高信頼性の項目診断を行うために

は放電加工のエネルギー評価での基本機能をしっかり固めることが今後の課題と思われる。

除去体積を評価指標とした因子毎の工程平均 (感度 β) や電極消耗率等の物理量を直接観察した場合の最適条件決定では、適切に有意因子の判定が行えているが、これらの評価は静特的なものであり単一条件の場合にのみ有効であると考えられる。細穴放電加工における最適条件決定では、実験時間が少なくかつ動特的な評価が必要であり、放電エネルギー評価はこれらの問題解決に役立つと期待される。

5 結 言

細穴放電加工のパラメータ設計を T 法(1)の放電エネルギー評価で行った結果、以下の結論が得られた。

- (1) 電圧を特性値として T 法(1)による最適電圧波形のパターンマッチングで項目診断を行った結果、予測真値と実測値の相関係数が 0.61 と低いため、信頼性の高い項目診断が行えなかった。
- (2) 除去体積を評価指標とした因子毎の工程平均

(感度 β)や電極消耗率等の物理量を直接観察した方法により得られた最適条件は、大きな放電パワーと低電極消耗率を両立する水準であった。しかし、これらの方法は静特的な評価であり単一条件の場合のみ有効である。

今後の課題は、動特的な評価のための放電加工のエネルギー評価での基本機能の確立である。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、岩手大学工学部金型技術研究センター主催の品質工学ものづくり研究会のメンバーの方々から多大なアドバイスを頂いたことに深謝する。

文 献

- 1) 和合健、飯村崇、黒澤裕也：T法(1)による細穴放電加工の除去量の予測、(地独)岩手県工業センター研究報告書、第16号、番号4(2009)
- 2) 市川和愛、嘉指伸一、藤土盛嗣、住田典夫：ON時とOFF時のエネルギー評価による旋削加工技術の開発と生産性向上、品質工学、Vol.7、No.4、p31-40(1999)
- 3) 田口玄一：目的機能と基本機能(6)–T法による総合予測–、品質工学、Vol.13、No.3、p5-10(2005)