

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 1 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420053

研究課題名(和文)形状創成放電加工用電極消耗予測システムの実験計画法採用による高精度化

研究課題名(英文)Enhanced Prediction System of Electrode Wear with Design of Experiment Method on Contouring Electric Discharge Machining

研究代表者

水垣 善夫(MIZUGAKI, Yoshio)

九州工業大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：50174016

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：放電加工精度に影響を与える電極消耗の高精度予測を目的に、実験計画法を用いた加工電気条件の抽出と形状モデルによる電極消耗予測シミュレーションシステムの開発を行った。前者ではL18直交表を用いた8因子2ないし3水準の電気条件で電極消耗が小さい条件を実験的に見出し、後者では電極と被加工物を積層円板モデルで表し、電極の部位別消耗率を適用したシステムを開発した。部位別消耗率の導入により単一消耗率の場合よりも実験結果に近い形状を予測でき、推定誤差を平均値で31%低減することが出来た。形状創成放電加工経路で直線と円弧の比較では後者は推定誤差がより大きく、電極径平均値で0.31mmの偏差を示した。

研究成果の概要(英文)：For precise estimation of electrode wear in Electric Discharge Machining (EDM), preferable electric conditions had been identified with Design of Experiment Method, and a simulation system of electrode wear had been developed with geometric model of piled-disk for electrode and work. As Design of Experiment Method, L18 orthogonal table consisted of 8 factors with two or three levels had applied to identify the electric conditions of low electrode wear. In the simulation system of electrode wear, rate of electrode wear at a partial surface had been individually set and used in the simulation. Because of changeable individual rate of electrode wear, the estimation accuracy of electrode wear was improved by 31% compared with that of fixed rate. In comparison of estimation the error of electrode wear with straight tool path and circular-interpolated tool path on Contouring EDM, the latter path had a greater estimation error and the difference of both estimations was 0.31 mm in average.

研究分野：機械工学、加工学

キーワード：放電加工 電極消耗 シミュレーション 実験計画法 形状モデル

1. 研究開始当初の背景

形彫り放電加工では荒加工用・仕上げ加工用の各電極の作成が必要であり、電極作成時間増大とコスト増加の課題が存在する。そのため先端半球状棒状電極を走査して形彫り放電加工と同様に形状加工を行う形状創成放電加工の実用化が求められている。その際、電極消耗の予測が実用化には不可欠で、その予測に基づき、棒状電極先端を再整形したり、加工経路の補正を行ったりすることが可能となる。

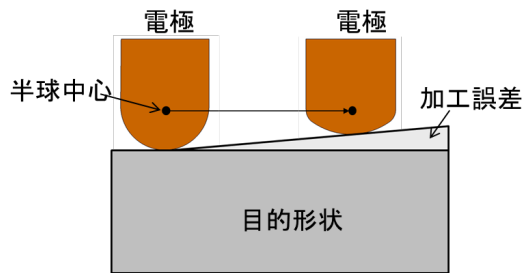


図1 形状創成放電加工での電極消耗に起因する加工誤差の説明図<sup>3)</sup>

2. 研究の目的

本研究課題では、放電加工精度に影響を与える電極消耗の高精度予測を目的に、実験計画法を用いた電気加工条件の抽出と形状モデルによる電極消耗予測シミュレーションシステムの開発を行った。

3. 研究の方法

(1) 実験計画法による電気加工条件の抽出  
電極消耗に影響する因子の特定を行うため、電気条件およびその各水準の選定を行った。表1がその結果である。

表1 放電加工で用いた要因および水準<sup>1)</sup>

	水準1	水準2	水準3
電極極性	正	逆	
無負荷電圧	90V	120V	165V
電流ピーク値	24A	36A	48A
放電時間	50 μs	100 μs	150 μs
デューティ・ファクター	40%	60%	80%
周速度	100mm/s	150mm/s	200mm/s
切込み深さ a	1 mm	0.5 mm	0.25 mm
電極傾斜角	30°	15°	0°

表2 L18 直交表における因子と水準の例<sup>1)</sup>

因子	水準		
	a1	a2	a3
A	a1	a2	a3
B	b1	b2	b3
C	c1	c2	c3
D	d1	d2	d3
E	e1	e2	e3
F	f1	f2	f3
G	g1	g2	g3
H	h1	h2	h3

表3 加工条件の組み合わせ (L18 直交表)<sup>1)</sup>

実験No	A	B	C	D	E	F	G	H
1	a1	b1	c1	d1	e1	f1	g1	h1
2	a1	b1	c2	d2	e2	f2	g2	h2
3	a1	b1	c3	d3	e3	f3	g3	h3
4	a1	b2	c1	d1	e2	f2	g3	h3
5	a1	b2	c2	d2	e3	f3	g1	h1
6	a1	b2	c3	d3	e1	f1	g2	h2
7	a1	b3	c1	d2	e1	f3	g2	h3
8	a1	b3	c2	d3	e2	f1	g3	h1
9	a1	b3	c3	d1	e3	f2	g1	h2
10	a2	b1	c1	d3	e3	f2	g2	h1
11	a2	b1	c2	d1	e1	f3	g3	h2
12	a2	b1	c3	d2	e2	f1	g1	h3
13	a2	b2	c1	d2	e3	f1	g3	h2
14	a2	b2	c2	d3	e1	f2	g1	h3
15	a2	b2	c3	d1	e2	f3	g2	h1
16	a2	b3	c1	d3	e2	f3	g1	h2
17	a2	b3	c2	d1	e3	f1	g2	h3
18	a2	b3	c3	d2	e1	f2	g3	h1

L18 直交表で用いた因子と水準を表2に示しており、表3がL18直交表におけるそれらの組み合わせである。表3の各行で示される電気加工条件の組み合わせで放電加工を行い、電極消耗等における影響を要因効果図で表す。図2が電極消耗率に対する各因子の効果を、図3が加工速度に対する各因子の効果を表している。

図2の要因効果図からわかるように、放電時間が長く、デューティ・ファクター(DF: Duty Factor)が大きいほど電極消耗率は小さくなっている。放電エネルギーの大小の関係から放電時間とデューティ・ファクターが正の相関を有することは当然と言える。逆極性(ワークがマイナス極)で加工速度が増大することは従来の知見と一致している。

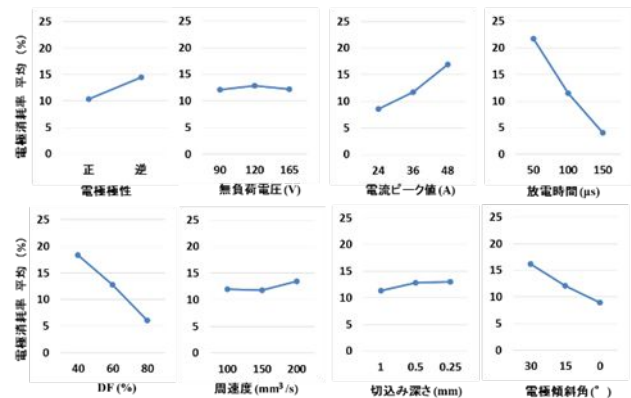


図2 電極消耗率に対する要因効果図<sup>1)</sup>

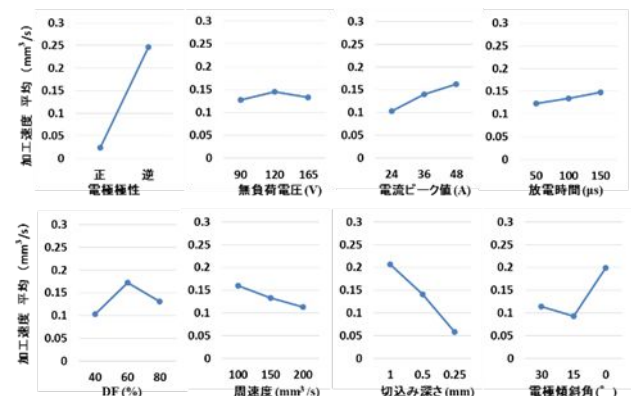


図3 加工速度に対する要因効果図<sup>1)</sup>

(2) 形状モデルによる電極消耗予測シミュレーションシステムの開発

先端半球状棒状電極を用いて形状創成放電加工を行い、半球状部分の電極消耗を部位別に測定した。その際の電気加工条件は電極消耗が大きくなる条件を選んでおり(表4参照) 実験計画法を用いて算出した低電極消耗条件とは異なっている。先端半球状電極の半径毎の消耗を調べるために積層円板モデルでモデル化しており、加工深さ一定の等高線加工経路を用いて、直線経路および曲線補間経路で実験を行った。

図4に先端半球状棒状電極のモデル(層厚さ0.1mm)を、図5に等高線加工経路の模式図を示す。実際の加工では電極を回転するため電極消耗は図6のように軸対象となる。今回、各層で同一消耗率とは限らないため、実測値に基づく個別の電極消耗率を設定した。

表4 シミュレーション検証用加工条件<sup>3)</sup>

電極	銅電極(C1020)
電極径	Φ10(mm)
ワーク	SKD11
電極回転数	3000rpm
加工距離	31.4mm
切込み深さ	3mm
極性	電極+ ワーク-
電流ピーク値 $i_e$	48(A)
無負荷電圧 $U_e$	90(V)
放電時間	100( $\mu$ s)
duty factor $\tau$	60%
加工液	vitol2
電極傾斜角	0°

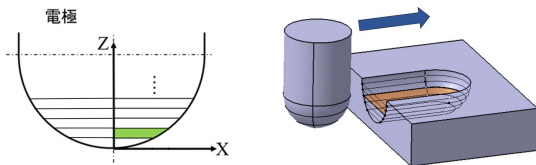


図4 電極モデル<sup>3)</sup> 図5 等高線加工経路<sup>3)</sup>

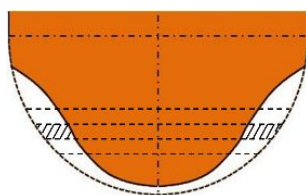


図6 層別電極消耗の模式図<sup>2)</sup>

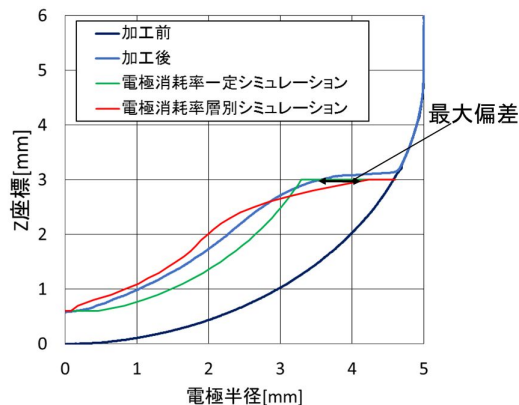


図7 電極消耗の予測結果と実測の比較<sup>3)</sup>

図7に電極消耗の実測形状とシミュレーション結果の比較を示す。層別電極消耗率による推定結果のほうが一定電極消耗率による推定結果よりも実測形状に近い形状になっている。実測形状との最大偏差は0.40mm、平均偏差で0.23mmであり、一定率での平均偏差と比較し31%低減している。

直線経路と円弧経路とによる電極消耗率の実測比較では、17.2%と17.4%ではほぼ同一であったが、電極半径では後者の推定誤差が大きく、半径平均で偏差0.31mmだった。除去加工量は後者が15.6%少ない値を示した。

4. 研究成果

(1) 実験計画法による電気加工条件の抽出 L18 直交表を用いた加工実験の結果、電極消耗率に対する効果は放電時間が最も大きく影響し、実験条件の範囲では最大で約82%も低減できる。また、実験条件の範囲では正極性で電流ピーク値:24A、放電時間:150 $\mu$ s、DF:80%の条件で電極消耗抑制が期待できる。

(2) 形状モデルによる電極消耗予測シミュレーションシステムの開発

形状創成放電加工において先端半球状棒状電極の層別に電極消耗率を設定することで、より高精度に電極消耗を予測できることが検証できた。同時に加工経路の違いにより推定形状が異なることも判明し、加工経路の考慮も必要であることが明らかとなった。

本研究の成果は九州工業大学大学院生(知念秀作<sup>1)</sup>H27年度、岡田一貴<sup>2)</sup>H28年度)学部生(嘉賀健治<sup>3)</sup>H28年度)の修論・卒論の研究成果に負うところが大きい。図表はそれらから引用したものであり、謝意を表する。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

(雑誌論文)(計0件)

(学会発表)(計3件)

小嶺孝明、岡田一貴、徳田貴文、形状創成放電加工における電極消耗予測の高精度化 - 第5報: 部位別電極消耗率に対する加工面傾斜角と切込み深さの効果 -、2016年度精密工学会九州支部第17回学生研究発表会、pp.1-1、北九州工業高等専門学校(福岡県北九州市)、2016/12/11。(実際は第6報の誤記)

岡田一貴、吉川浩一、水垣善夫、森直樹、形状創成放電加工における電極消耗予測に基づく加工経路の生成 - 基本アルゴリズムの検証 -、2016年度日本機械学会年次大会、pp.1-2、九州大学(福岡県福岡市) 2016/9/12-14。

知念秀作、岡田一貴、松本周平、吉川浩一、水垣善夫、森直樹、形状創成放電加工における電極消耗予測の高精度化 - 第5報 実験計画法による影響因子の特定 -、精密工学会九州支部飯塚地方講演会、pp.1-2、九州工業大学情報工学部(福岡県飯塚市) 2015/12/5。

〔図書〕(計0件)  
〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等 なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

水垣 善夫 (MIZUGAKI, Yoshio)  
九州工業大学・大学院工学研究院・教授  
研究者番号：50174016

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：

### (4) 研究協力者

( )