

# 鋳鉄のワイヤ放電加工条件の最適化\*

和合 健\*\*、浅沼 拓雄\*\*

鋳鉄は鉄のほか炭素やケイ素などを含む合金であり、自動車部品や工作機械の構造材、金型等にも多く使われている。鋳鉄は黒鉛を含む合金組織を有しているため、振動吸収性や耐摩耗性に優れるなどの特長を持っているが、黒鉛によりワイヤ放電加工には適さない材料とされる。そこで、金型加工で多用されるワイヤ放電加工での鋳鉄に適した加工条件を探索し、独自の加工条件で鋳鉄のワイヤ放電加工を行うことができることを明らかにした。

**キーワード：鋳鉄、ワイヤ放電加工機、加工条件、最適化、Eパック**

## Optimization of Wire in Electrical Discharge Machining Condition for Cast-Iron Products

Takeshi Wago and Takuo Asanuma

Cast iron is an alloy that contains carbon and silicon in addition to iron. It is widely used in molds for automobile parts or as structural material for machine tools. Cast iron offers excellent vibration absorption and abrasion resistance because it has an alloy structure containing graphite. For this reason, it is unsuitable for use in wire electrical discharge machining. In this study, we explore the processing conditions suitable for machining cast iron by wire electrical discharge machining. The results show that, under the conditions detailed herein, cast iron can be machined by wire electrical discharge machining.

**key words : cast iron, wire electrical discharge machining, conditions, optimization, E-pack**

### 1 緒言

鋳鉄は合金組織中に黒鉛を含むため、振動吸収性や耐摩耗性及び切削性や加工性にも優れた合金である。その高い機能性から用いられる用途は広く、自動車用部品をはじめ、金型や加工機等の構造材、パイプなどの日用品にも多用されている。しかしながら、鋳鉄は合金組織中に黒鉛があるため、金型加工で多用されるワイヤ放電加工ではワーク材として適さず、ワイヤ断線が多発し加工が難しい場合がほとんどである。ここでは、金型加工で多用されているワイヤ放電加工を用いて、鋳鉄に適した加工条件を探索し、鋳鉄製金型製造におけるワイヤ放電加工の適用性を検証することとした。

### 2 実験方法

#### 2-1 使用機器と加工材

実験に使用する加工機械は三菱電機製ワイヤ放電加工機 DWC90PA とした。ワイヤ電極は沖電線製 BS ワイヤ φ0.2mmFBH-20G5V、千葉テクノ製 BS ワイヤ φ0.2mmCTW-20TH-P5、菱電工機エンジニアリング製 BS ワイヤ φ0.2mmRBHA-20N の3種類を順次使用した。ワイヤ電極の製品差における加工性能の違いはここでは同等とみなし、実験での因子としては取り上げない。加

工物はFC200 鋳鉄(寸法 L100mm、H35.6mm、W50mm 上下部分フライス切削実施)及び FCD550 鋳鉄(寸法 L100mm、H21mm、W50mm 全面フライス切削実施)のブロック材2種である。

#### 2-2 加工方法と加工条件の設定

加工方法はY軸方向のワイヤカットNCプログラムを作成し、加工機左側テーブルに治具で横向きに固定した加工材を、Y軸プラスの奥行き方向に直線でワイヤカットを行った。加工条件は製造業者が示した加工材種、加工材厚さ、仕上げ表面粗さ毎に17種類の電気条件因子を組み合わせたメーカー推奨の加工条件最適値、所謂、Eパックを使用して設定した<sup>1)</sup>。例えば表1中のE397がEパックと呼ばれるメーカー推奨条件であり、Eに続く数値が登録番号である。加工条件の最適化は作業者が加工状況を観察して17種類の電気条件因子を適宜調整する方式で行った。

### 3 実験結果及び考察

#### 3-1 FC200 鋳鉄を使用した実験

FC200 鋳鉄を使った実験では、最初にSKD-11加工材の厚さ40mm用のE397を使用して加工を開始したが、即断線したためSKD-11厚さ30mm用E391に変更した。

\* 平成26年度 研究成果展開事業研究成果最適展開支援プログラム A-STEP ハイリスク挑戦タイプ (復興促進型)

\*\* 素形材技術部

E391も即断線したため、加工開始後Eパックの数値と加工速度を適宜変更して加工状態を確認することとした。表1の実験番号1、2ではデフォルト設定のままEパックを使用、実験番号3、4ではメーカー取扱説明書よりワイヤ断線多発の対策に基づきSB(安定回路B)を2~4、VG(平均加工電圧)を2~10ノッチ上げ、IP(加工セッティング)を1~2ノッチ下げを適宜組み合わせ加工を実施した。依然として断線が多発することから、合金組織中に黒鉛を含む鋳鉄の性質に着目し、メーカーが提示するグラファイト加工用の加工条件で実施した。その結果、断線が大幅に減少し、以降の実験は加工速度を変更して加工状態を確認した。実験番号9はE391と類似したE673を使用した試験的な加工であったが、AE(電源モード)12の影響が良好な加工ができなかった。ここまでの結果、表皮の酸化鉄部分以外の加工ではFA(加工速度)1.5mm/min以下、WT(ワイヤ張力)3が最適であることがわかった。また、表皮部分(0~500um程度)の加工時の断線を防止するためにはFA0.03~0.05mm/min以下が必要であることがわかった。これらのデータをもとに鋳鉄加工用の独自Eパック302を作成し、加工能力を確認して実験を終了した。

### 3-2 Eパック302の加工性能の確認

作成したEパック302を使用した加工回数は4回であったが、加工時間内にFA(加工速度)を適宜変更しながら実験を行った。表2実験番号1では、加工開始時のFAをデフォルトの1.0mm/minから0.01mm/minに変更し加工を開始した。その後断線が無いことを確認しY=20umずつFA0.02、0.03、0.04、0.05mm/minと速度を上げながら加工を行った。その結果FA0.05mm/minで断線が発生した。実験番号2では、FA0.04mm/minで加工を開始したが断線が発生、FA0.03mm/minで加工を継続しY=0.5mmまで加工後FA1.0mm/minに変更、Y=1.0mm加工後FA1.5mm/minで加工を継続した。加工中は多少接触が見られるものの、正常に加工は行われた。加工終了間際には再度表皮部分の加工が行われるため、FA1.5mm/minでは断線が発生した。やはり表皮部分の加工は加工速度を下げる必要がある。実験番号3では、FA0.03mm/minで加工開始したが断線が発生、再度FA0.03mm/minで加工を行った。Y=0.2mmでFA1.5mm/minに切換したが、加工は順調に行われた。加工終了時Y=1.5mmを残してFA0.03mm/minに変更、断線無く加工は終了した。加工途中FA1.5mm/minからFA1.6mm/minに変更したが、電圧が不安定となり接触過多となった。実験番号4では、FA0.03mm/minで加工を開始しY=0.1mmでFA1.5mm/minに変更、加工終了残Y=1.0mmでFA0.5mm/minにして加工を終了した。ここまでの結果、表皮部分ではFA0.03mm/min以下で0.5mm程度の加工が必要であり、表皮以外はFA1.5mm/min程度の加工は可能である。また、Eパック302とグラファイト用の条件との大きな相違はWT(ワイヤ張力)であった。次にFCの黒皮加工の検討として、黒皮部分を上

表1 実験番号毎の加工条件(その1)

No.	実験番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
E	Eパック番号	397	391	391	391	391	391	391	391	673	391	391
Vo	電圧切換	4	4	4	4	8	8	8	8	8	8	8
Ip	加工セッティング	8	9	7	6	7	7	7	7	7	7	7
OFF	休止時間	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SA	安定回路A	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2
SB	安定回路B	10	10	14	14	14	14	14	14	14	14	14
WS	ワイヤ速度	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
WT	ワイヤ張力	8	8	8	8	5	3	3	3	3	3	3
PT	プリテンション	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
LQ	加工液流量	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
LR	加工液比抵抗	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
VG	平均加工電圧	47	52	62	57	65	65	65	65	57	65	65
SC	安定回路C	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
FS	フィードバック	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
AE	電源モード	11	11	11	11	11	11	11	11	12	11	11
SE	安定回路E	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
FA	加工速度(最大)	1.00	0.10	0.05	0.05	0.05	0.10	0.50	1.00	1.00	1.50	2.00

表2 実験番号毎の加工条件(その2)

No.	実験番号	1	2	3	4
E	Eパック番号	302	302	302	302
Vo	電圧切換	8	8	8	8
Ip	加工セッティング	7	7	7	7
OFF	休止時間	1	1	1	1
SA	安定回路A	2	2	2	2
SB	安定回路B	14	14	14	14
WS	ワイヤ速度	12	12	12	12
WT	ワイヤ張力	3	3	3	3
PT	プリテンション	8	8	8	8
LQ	加工液流量	2	2	2	2
LR	加工液比抵抗	9	9	9	9
VG	平均加工電圧	65	65	65	65
SC	安定回路C	1	1	1	1
FS	フィードバック	1	1	1	1
AE	電源モード	11	11	11	11
SE	安定回路E	1	1	1	1
FA	加工速度(最大)	0.05	0.04	0.03	0.03

表3 FCとFCDに適した加工条件

Mate	加工物	FC	FCD
E	Eパック番号	302	303
Vo	電圧切換	8	8
Ip	加工セッティング	7	4
OFF	休止時間	1	1
SA	安定回路A	2	2
SB	安定回路B	14	16
WS	ワイヤ速度	12	12
WT	ワイヤ張力	3	1
PT	プリテンション	8	8
LQ	加工液流量	2	2
LR	加工液比抵抗	9	9
VG	平均加工電圧	65	65
SC	安定回路C	1	1
FS	フィードバック	1	1
AE	電源モード	11	11
SE	安定回路E	1	1
FA	加工速度(最大)	1.00	1.00

下にし、フライス加工部分を前後にして加工を実施した(H50mm、W35.6mm)。FA0.1mm/minで加工開始、FA0.5、1.0、1.5mm/minと速度を変更、FA1.5mm/minでは電圧が不安定となりFA1.0mm/minに変更して加工、断線は発生しなかった。この結果、酸化膜が上下にあっても加工は可能であり、前後に酸化膜がある方が、ワイヤ接触面積が大きく断線が発生しやすい。

### 3-3 FCD550 鋳鉄を使用した実験

加工物をFC200鋳鉄からFCD550鋳鉄に変更してE302の条件で加工を開始した。1回目はY=15mmで断線した。2回目はWT(ワイヤ張力)を1に変更した表3のFCD用独自E303を作成し、FA1.0mm/minに固定したままで断線無く加工は終了した。FCD550 鋳鉄は全面フライス加工を施しており、黒皮がないため、E303の条件で容易に加工することができた。この結果から、鋳鉄のワイヤ放電加工ではWTの影響が大きく、FC200ではWT3が最適値であったのに対して、FCD550ではWT1が最適値となった。

#### 4 加工面の平面度評価

表 4 に図 1～図 7 に示した加工面の平面度の統計値を示す。図 1～図 7 に平面度を高さ別色分布で表示した図を示す。図 1 は表 1 の実験番号 No.1～11 で得られた平面度、図 2 は表 2 の実験番号 No.1、2 で得られた平面度、図 3 は表 2 の実験番号 No.3 で得られた平面度、図 4～図 7 は表 2 の実験番号 No.4 で得られた平面度である。

図 1 は実験最初の加工条件による平面度である。断線を繰り返し、実験番号 1～11 において因子を調整して加工を繰り返した理由もあるために平面度が大きく Range で  $34\mu\text{m}$ 、 $\sigma$  で  $7\mu\text{m}$  であり、図 2～図 7 に比較して大きい。平面度が大きいのは断線を繰り返した理由もあるが、加工条件が最適値からずれているための加工条件不良が平面度劣化の一因であることも考えられる。図 2～図 7 は FC 及び FCD に適合した加工条件の調整で、図番が大きくなる方向で良好な方向に推移した図であるため、図 5、7 では平面度  $\sigma$  が  $0.003\text{mm}$  を示し良好な平面度となっていた。因子 WT (ワイヤ張力) は図 2 以降では WT3 に設定され、これはワイヤ張力を弱める方向の調整であった。ワイヤ張力が弱まると断線の危険性は低下するが、加工中の爆発溶解現象によりワイヤの振動が大きくなり、平面度が劣化することを予想したが、平面度の加工結果から平面度の劣化は見られなかった。加工条件を FC 及び FCD に適する組み合わせに調整することにより安定加工が実現され、WT (ワイヤ張力) の低下は結果的には安定加工により包含され良好な平面度が得られたと考えられた。

この結果、FC 及び FCD に適する加工条件に調整することで、断線しない安定加工と同時に良好な平面度を得ることが出来た。

表 4 加工面の平面度の統計値

Fig.	Points	Max dev	Min dev	Range	Men dev	Sigma	RMS
1	70	0.018	-0.016	0.034	-0.001	0.007	0.007
2	70	0.009	-0.011	0.02	-0.003	0.005	0.005
3	70	0.003	-0.009	0.012	-0.004	0.003	0.003
4	70	0.007	-0.049	0.056	-0.002	0.007	0.007
5	70	0.005	-0.007	0.013	-0.001	0.003	0.003
6	70	0.009	-0.001	0.02	-0.001	0.005	0.005
7	70	0.003	-0.008	0.011	-0.003	0.003	0.003

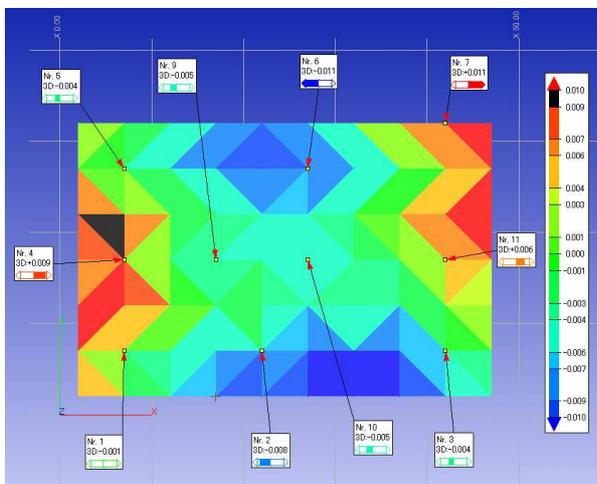


図 1 表 1 の実験番号 No. 1～11 で得られた平面度

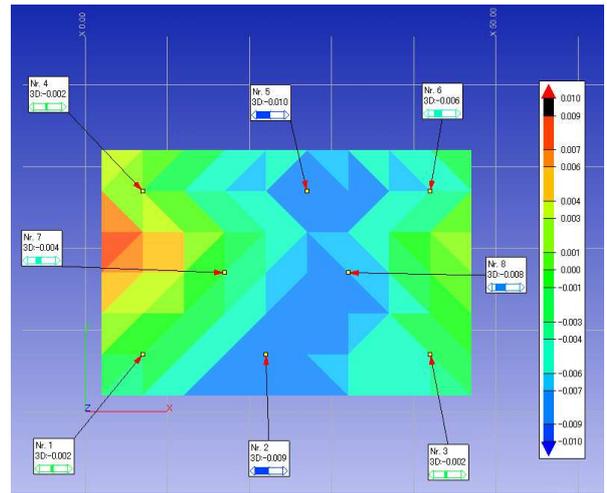


図 2 表 2 の実験番号 No. 1、2 で得られた平面度

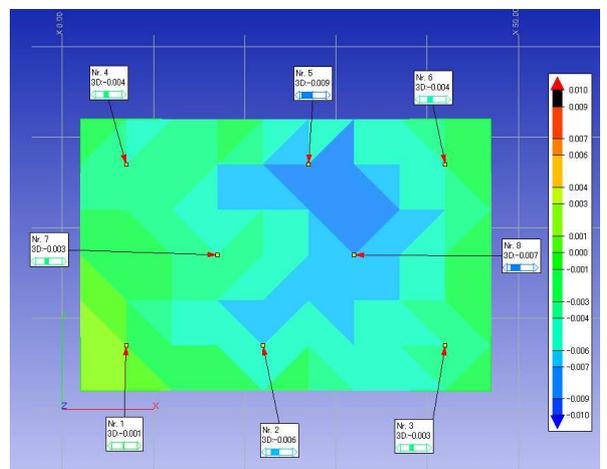


図 3 表 2 の実験番号 No. 3 で得られた平面度

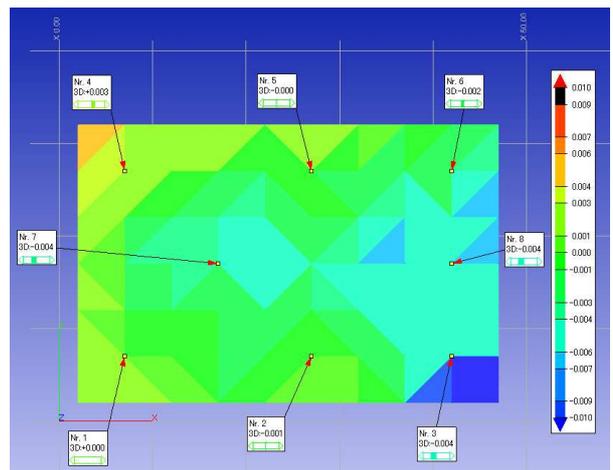


図 4 表 2 の実験番号 No. 4 で得られた平面度

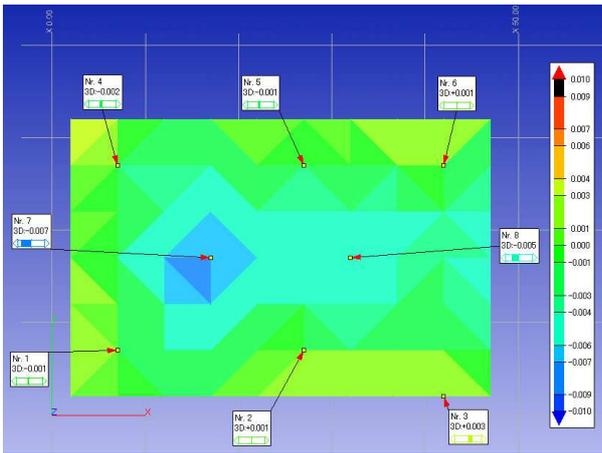


図5 表2の実験番号No.4で得られた平面度

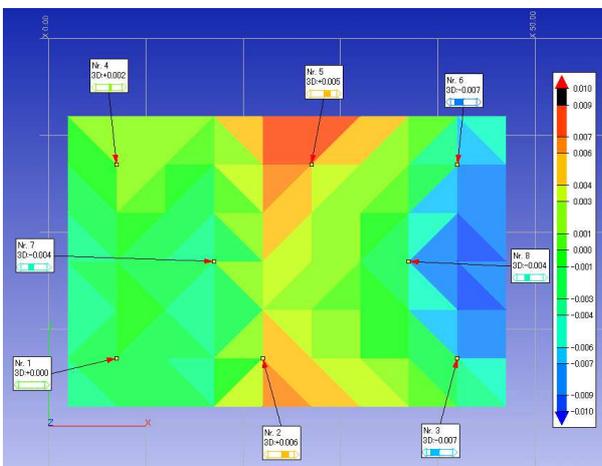


図6 表2の実験番号No.4で得られた平面度

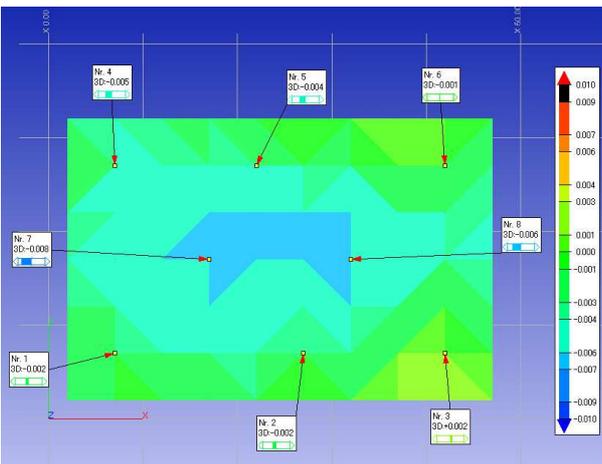


図7 表2の実験番号No.4で得られた平面度

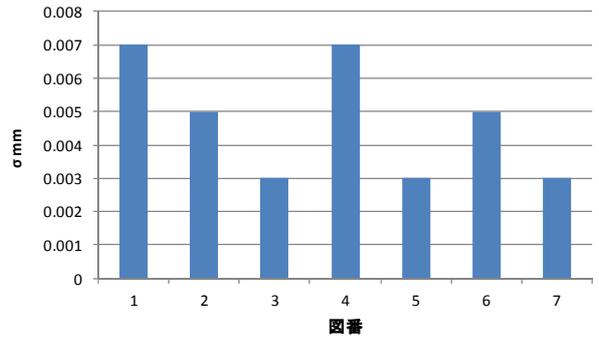


図8 平面度σ (測定点数N=70)

## 5 結 言

ワイヤ放電加工で、加工物をFC及びFCD、加工液を水浸漬式、ワイヤ電極をφ0.2mmBS、電源をトランジスタ回路交流電源とし加工方法の最適化を試みた。その結果、IP（ピーク電流）、SB（安定回路B）、VG（平均加工電圧）、FA（加工速度）、WT（ワイヤ張力）の5因子を最適な組み合わせにすることで、FC及びFCDに対してFA（加工速度）が1.0mm/minの安定加工が達成出来た。この最適条件はグラファイト材の加工条件に近く、鋼材の加工条件とは全く異なる加工条件であった。

ワイヤ放電加工による1stカットのみの加工面粗さを鋼材とFCの場合で比較した結果、鋼材ではRa2.70μm、FCではRa2.91μmとなりほぼ同等であった。次に、FC及びFCDを安定加工するためにWT（ワイヤ張力）を下げる必要があるため、加工中の振動で平面度が劣化する恐れがあった。そこで加工面の平面度を検査した結果、WTを下げて最適化を図った加工条件による加工面の平面度が最も平面度が良好であることがわかった。

総括として、ワイヤ放電加工機を使用した鋳鉄FC200及びFCD550の加工は、それぞれに適した加工条件を使用すれば、FA1.0mm/minで断線することなく加工は可能である。FC200鋳鉄の加工で困難な部分は、黒皮部、平坦でない加工面（組織硬化したざらざら面）、加工中にワイヤが引っ掛かる素材異常箇所（巣や異物などの導電性に問題がある箇所）である。いずれも不導電性により放電加工原理を妨げることが異常加工の原因と考えられ、黒皮部等は予め切削加工で除去することでワイヤ放電加工が可能になるようであった。

## 文 献

- 1) 三菱電機:三菱ワイヤ放電加工機DWC90PA取扱説明書(1996)