

## 研究ノート

# 放電加工における加工条件と加工特性について (パルス条件と加工速度・消耗率・面粗度の関係)

福山職業訓練短期大学校 佐野 公則

Relation of Machining Characteristic and Electric Condition on EDM

Kiminori Sano

**要約** 放電加工は、電気エネルギーを直接利用することにより、被加工物の硬度に関係無く、非接触で精密加工が出来るという、これまでの機械加工とは異なった優れた特徴をもっている。しかし電気加工条件等により加工特性が大きく異なるという、利用する側にとっては困難な一面をもっており、一定の加工性能を得るためには、メエカー毎、機械毎に異なった電気加工条件の設定が必要である。そこでここでは、当施設の加工機の、鋼における電気加工条件と、加工特性との関係を把握する目的で、電気加工条件を種々変化させ加工特性データを得たものである。結果より加工能率を表す加工速度には、平均加工電流と共にデューティファクタが大きな影響を与え、加工精度に関係する電極消耗率にはデューティファクタが関係し、50%以上で低消耗加工域に入り、加工表面状態にはパルス巾が大きな影響を与える事が分かった。

## I はじめに

放電加工において、一定の加工性能を得るためには、機械毎に異なった電気加工条件の設定が必要である。そこで、当施設の放電加工機における加工特性を把握する目的で、電気加工条件と加工速度、電極消耗率、加工面粗度等との関係について検討するために基本的実験を行ったので報告する。

## II 実験条件と方法

加工物は、通常冷間プレスに多用される合金工具鋼SKD-11材で、市販のままの焼きなまし材を用いた。SKD-11材の化学組成を表1に示す。電極材は一般によく使用されるタフピッチ銅(純度:99.9%以上 規格値)を用い、サイズは口10mm×50mmとし、加工面積1cm<sup>2</sup>とした。放電加工機は市販の汎用機を使用した。電極の動作は、Z軸方向のジャンプのみとし、加工液はノズル噴射(2ノズル、ノズル径:6mm、液圧:0.17kgf/cm<sup>2</sup>)を用い、加工屑の排除状態は良好に維持した。放電加工条件を表2に示す。加工概略図を図1に、加工状態を図2に示す。

電気加工条件のうち加工電流波高値(A:以後I<sub>p</sub>と記す)、

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
1.51	0.32	0.42	0.025	0.008	11.3	0.84	0.22

表1 SKD-11の化学組成(規格値Wt%)

無負荷電圧	平均140V
極性	電極(+)-加工物(-)
デューティファクタ	10~92%
電流波高値	1.7~80A
パルス巾	20~400 $\mu$ s
加工液	灯油(JELoil)

表2 加工条件

デューティファクタ(%:Ton/(Ton+Toff)、以後DFと記す)、平均加工電流(A:I<sub>p</sub>×DF、以後I<sub>m</sub>と記す)、パルス巾( $\mu$ s: Ton)、周期( $\mu$ s: Ton+Toff)を種々変化させて加工を行い、重量加工速度(mg/min)、重量電極消耗率(%),加工面粗度( $\mu$ m:R max,Ra)、加工面の顕微鏡写真、加工断面写真等のデータを得た。

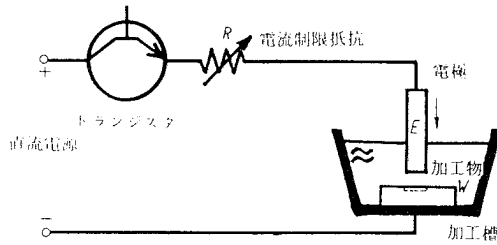


図1 加工概要図

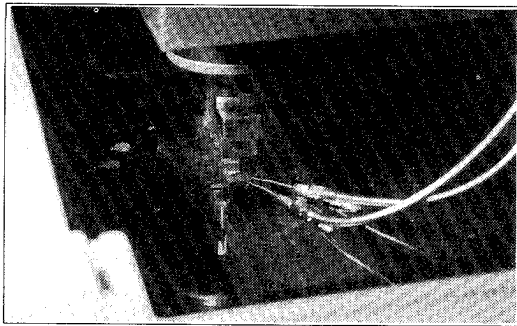


図2 加工状態

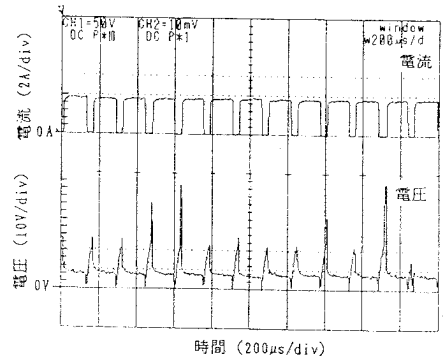


図3 加工電圧、電流波形

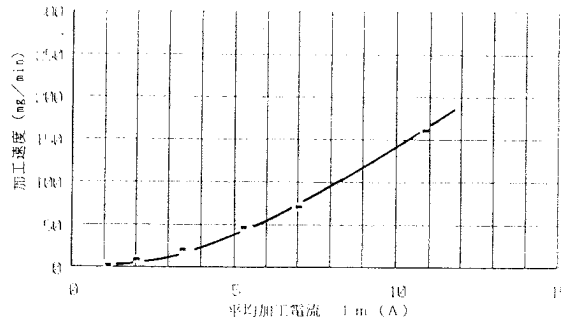


図4 平均加工電流値と加工速度の関係 (DF=const.)

具体的実験方法は以下の4実験とした。

〔実験1〕 $I_p$ と加工特性との関係を知るために、DFを約78%に設定し、 $I_p$ を1.7~14Aに変化させて、加工速度と面粗度を測定し、加工表面状態を観察する。

〔実験2〕 $I_m$ 、DFと加工特性との関係を知るために、 $I_p$ を9Aに一定にして、DFを10~89%まで変化させることによって、 $I_m$ を0.9~8Aまで変化させて、加工速度と面粗度を調べる。

〔実験3〕DFと加工特性との関係を知るために、 $I_m$ を7Aと10Aに、周期を180 $\mu$ sにして、DFを13~92%に変化させて、加工速度、面粗度、電極消耗率を調べる。

〔実験4〕パルス巾と加工特性との関係を知るために、 $I_m$ を7A、10Aに設定し、DFを50%に一定にして、パルス巾を27~400 $\mu$ sに変化させて加工速度、加工面粗度、電極消耗率、および加工面の状態を調べる。

極間電圧、電流、デューティファクタの測定には、電流プローブ(ソニー・テクトロニクス製、A6303)とデジタルオシロスコープ(横河製、DL1200)を使用した。加工速度の測定には、電子天秤(エアンドデー製、ER60A)を用い、面粗度の測定には、表面粗さ計(東京精密製、サーフコム550A)を使用した。

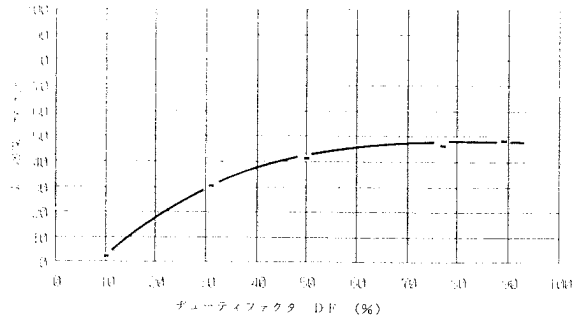


図5 DFと加工速度の関係 ( $I_p=const.$ )

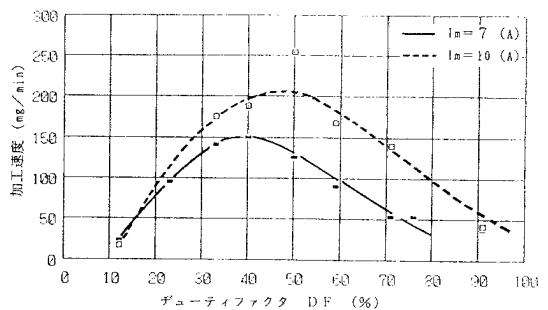


図6 DFと加工速度の関係 ( $I_m \cdot \text{周期} = const.$ )

図3に加工電圧・電流波形の一例を示す。電流波形は実験全体を通して図の様な矩形波であった。

なお、後述する図4、図11は〔実験1〕より、図5、図8、図12は〔実験2〕より、図6、図9、図13は〔実験3〕より、図7、図10、図14、図15は〔実験4〕より得ている。

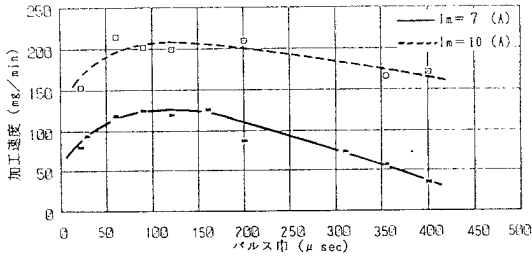


図7 パルス巾と加工速度の関係( $I_m \cdot I_p \cdot DF = \text{const.}$ )

### III 結果と考察

#### 1. 加工速度について

図4から、DFが一定のもとでは、 $I_m$ が増加するとともに、加工速度がほぼ比例して増加している。これは、 $I_m$ が大きくなることにより、溶融、除去にかかる放電エネルギーが増すためである。

$I_p$ 一定における、DFと加工速度の関係(図5)は、DFが10%から増すにつれて加工速度が増加するが、DFが50%程度で増加傾向は小さくなって飽和状態となる。DFの増大とともに $I_m$ も大きくなっているにもかかわらず、ある値以上では加工速度が増加しないのは、DFの影響と考えられる。DFが大きすぎると、溶融した金属を加工くずとして効果的に除去するための時間が不足するために、再凝固する量が多くなり、加工速度が増加しないと考えられる。

$I_m$ 、周期一定のもとにおける、DFと加工速度の関係(図6)は、DF40~50%で加工速度が最高値を示し、その前後では低下する傾向がある。特にDFが10%付近では1/6程度となり、DFが70%以上では約1/2となっている。ここでは、 $I_m$ 一定として、DFを変化させているので、結果として $I_p$ が変化している。DFが大きく $I_p$ が小さい条件では、溶融のための放電エネルギーと加工くず排除のための休止時間が不足し、DFが小さく $I_p$ が大きい条件では、パルス巾が小さ過ぎるため、材料を溶融するために必要な時

間が不足して、加工速度が増加しないと考えられる。

$I_m$ 、 $I_p$ 、DF一定のもとにおける、パルス巾と加工速度との関係(図7)は、パルス巾75~150μsで最高値を示し、その前後ではいずれも低下している。このことから1パルス毎に発生する放電エネルギーは、加工速度に最も貢献する最適値が存在することがわかる。

以上の結果から加工速度は、DFが一定の条件では、 $I_m$ の増加と共に増大し、 $I_m$ 一定のもとでは、DF50%程度で最高値となる。また、加工電流密度10A/cm<sup>2</sup>、DF50%では、パルス巾100μs程度で最高となることがわかった。

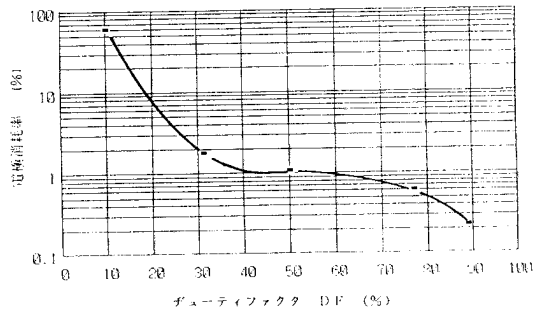


図8 DFと電極消耗率の関係( $I_p = \text{const.}$ )

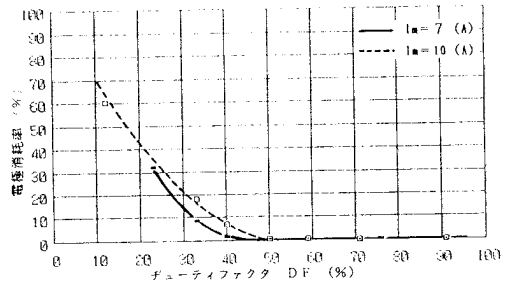


図9 DFと電極消耗率の関係( $I_m \cdot \text{周期} = \text{const.}$ )

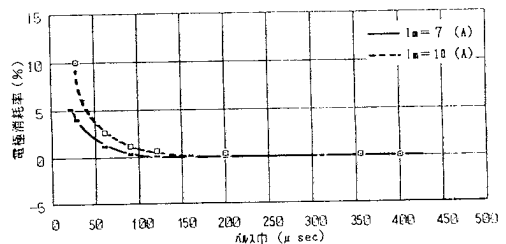


図10 パルス巾と電極消耗率の関係( $I_m \cdot I_p \cdot DF = \text{const.}$ )

2. 電極消耗率について

$I_p$ 一定のもとにおける、DFと電極消耗率の関係(図8)は、DFが30%以下では、電極消耗率は数%以上と大きい値を示し、DFが50%を超えると1%以下の低消耗加工となっている。ただし、DFが増大すると $I_m$ は増加するが、 $I_m$ の増加は、直接的に電極消耗率に関係しないことがわかる。

$I_m$ 、周期一定のもとにおける、DFと電極消耗率の関係(図9)は、DFが10%~30%の間では、電極消耗率は数10%と極端に高い値を示し実用性は低く、DFが30~50%と大きくなるに従い低下し、DFが50%以上では平均的に0.5%程度と低下し、低消耗加工の範囲にはいる。

$I_m$ 、 $I_p$ 、DF一定のもとにおける、パルス巾と電極消耗率との関係(図10)は、パルス巾が100 $\mu s$ より短い場合は電極消耗率が数%と高く、パルス巾が100~200 $\mu s$ では0.1%~0.3%程度と極めて低く、パルス巾が300 $\mu s$ を超えるとマイナスになる。これはパルス巾が長すぎるため、一度熔融された加工屑が二次放電で再び電極に付着するためと考えられる。また、パルス巾が50 $\mu s$ 以下では、1パルスの放電エネルギーが小さ過ぎるため、電極、加工材共に温度が十分上昇せず、電極にはパーログラファイトが付着しないため保護効果が働かず、電極は高消耗と成っていると考えられる。

以上の結果から低消耗加工には、DFが50%以上が良い条件といえる。また、加工電流密度10A/cm<sup>2</sup>、DF50%では、パルス巾150 $\mu s$ 以上の条件が良いことがわかった。

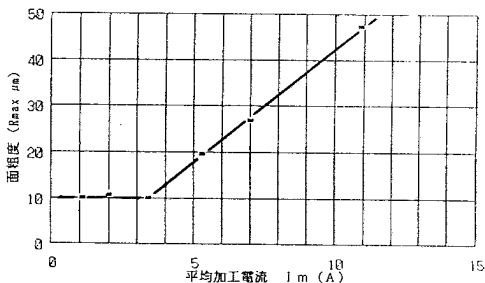


図11 平均加工電流値と面粗度の関係 (DF=const.)

3. 加工面粗度について

図11から、DFが一定のもとでは、 $I_m$ が3A程度まではほぼ一定値を示すが、それ以上では、 $I_m$ に比例して悪くなる。

$I_p$ 一定のもとにおける、DFと面粗度の関係(図12)は、DFの増加と共に $R_{max}$ は僅かながら悪くなっているが、 $R_a$ は殆ど変わらない。 $I_m$ 、周期一定のもとにおける、DF

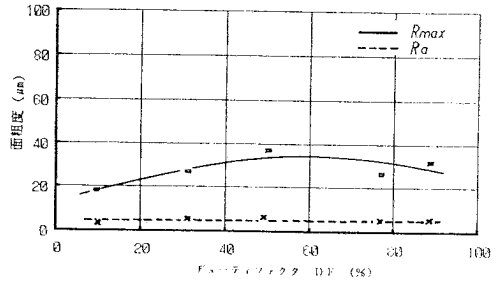


図12 DFと面粗度の関係 ( $I_p=const.$ )

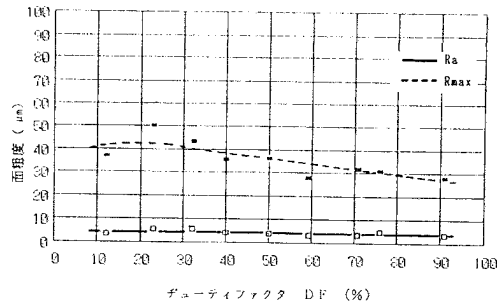


図13 DFと面粗度の関係 ( $I_m \cdot \text{周期} = const.$ )

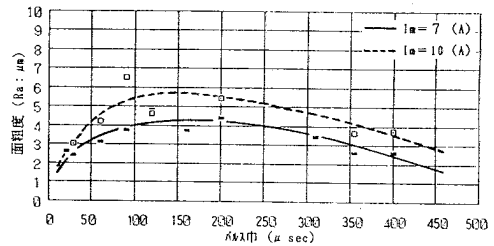


図14 パルス巾と面粗度の関係 ( $I_m \cdot I_p \cdot DF = const.$ )

と面粗度の関係(図13)は、 $R_{max}$ については、DFが大きいほど小さくなる傾向が僅かに認められるが、 $R_a$ はDFの変化により殆ど変化していない。

$I_m$ 、 $I_p$ 、DF一定のもとにおける、パルス巾と面粗度との関係(図14)は、パルス巾が100~200 $\mu s$ で面粗度が少し高い値を示している。これは加工速度とよく一致した傾向を示している。

図15は、加工材の表面顕微鏡写真と、加工面の断面写真である。この写真からわかるように、パルス巾が増加するに従って、白い加工変質層が厚くなり、表面全体を覆うようになっている。また、表面には微細クラックが生じていることがわかる。パルス巾120 $\mu s$ の写真では、1

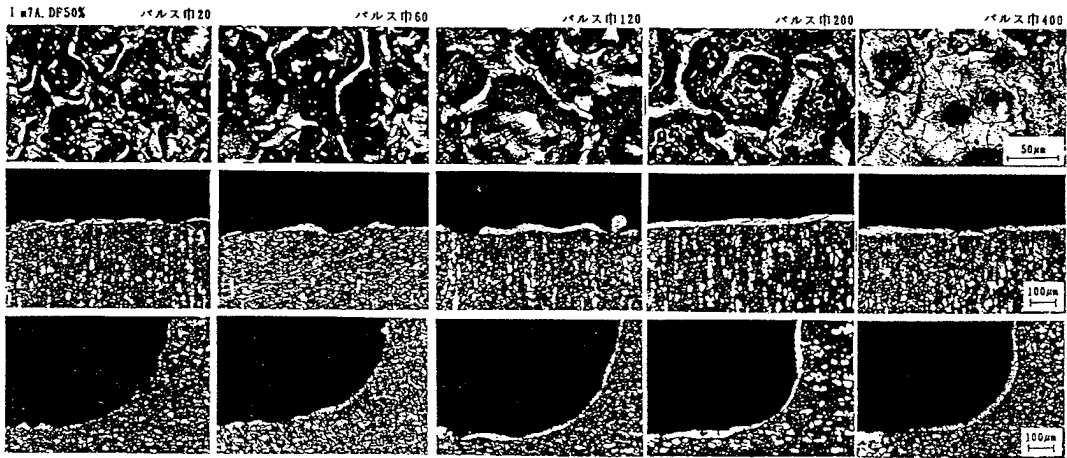


図15 加工表面と断面写真

パルス毎の放電エネルギーと休止時間が適切に作用し、溶融部が効果的に除去され、放電痕底面には変質層が形成されず、その周辺に噴山として変質層が形成されている状態が見られる。パルス巾が大き過ぎて、1パルス毎の放電エネルギーが大きすぎる場合は、溶融量と加工屑除去にかかる力学的作用（衝撃力）のバランスが崩れ、溶融部が十分除去されず再固化し、急冷を受けたクラックの有る変質層を形成すると考えられる。

以上の結果から加工面粗度は、 $I_m$ が一定であれば、 $I_p$ 、 $DF$ に関係なくほぼ一定となるが、加工変質層の状況はパルス巾の影響を大きく受ける事がわかった。

#### IV むすび

鋼の放電加工における加工速度には平均加工電流、デューティファクタが、電極消耗率にはデューティファクタが大きく影響を及ぼしており、加工面粗度は平均加工電流が一定であれば加工電流波高値、デューティファクタに関係なくほぼ一定となる事が分かった。今後は加工変質層の性状や形成に影響を与える要因について検討する予定である。

#### 参考文献

- 向山芳世「形彫・ワイヤ放電加工マニュアル」大河出版  
 増井、曾根他「ワイヤ放電加工面の硬さ変化」  
 精密機械学会誌1991・1 (vol157.NO1)  
 斎藤長男「放電加工のしくみと100%活用法」技術評論社  
 塩田泰仁「放電加工・ワイヤカット」日刊工業新聞社