

Development of Electrostatic Induction Feeding EDM with Controlled Pulse Train Method

Norliana Binti Mohd Abbas

Electrostatic induction feeding method (EIFM) is a pulse generator developed for micro electrical discharge machining (EDM). With EIFM, localized discharge and abnormal arc is less likely to happen because only one discharge can occur in every half cycle of the pulse power supply. Hence, stable machining can be achieved compared to the relaxation pulse generator or RC circuit which is widely used in industry. In micro EDM, tool is rotated to flush the debris in the gap. High speed tool electrode rotation helps in cooling the tool electrode surface. As a result, material removal rate (MRR) increases with increasing the speed of the tool electrode rotation. In RC circuit however, brush is used to connect the power supply to the tool electrode. Thus, it is not possible to rotate the tool at very high speed because it can cause vibration. With EIFM instead, non-contact electrical feeding can be realized and enables the tool to be rotated up to fifty thousand rpm without vibration. However, the material removal is extremely small because of the small capacitance, C_i which is formed in the gap between the feeding electrode and the tool. This results in very small discharge energy per pulse and insufficient to conduct rough machining. To overcome the problem, controlled pulse train method (CPTM) is introduced. With this method, once discharge occurs, the high frequency discharge is allowed to continue within a controlled pulse train duration. Thus, with the same feeding capacitance C_i , larger diameter of craters can be obtained at higher frequency and longer pulse train duration compared to the conventional EIFM where individual pulse discharge was generated. The concentration of discharge location of multiple discharges with CPTM has been proven by observing the discharge location using a high speed video camera through a transparent electrode. Higher MRR was achieved with CPTM compared to conventional EIFM. Discharge energy is influenced by open circuit voltage, u_o and feeding capacitance, C_i . Thus, by utilizing resonance in the circuit, the amplitude of the working gap voltage can be amplified higher than the AC power supply. Discharge continuity within the pulse train duration was improved resulting in largest diameter of discharge craters and highest MRR. When machining is performed with non-contact electrical feeding, sufficiently large discharge energy cannot be obtained and discharge current is difficult to sustain within the pulse train duration due to the small C_i . Hence, the capacitance was increased by changing the configuration of the feeding electrode. Higher capacitance was able to form with the large diameter feeding electrode and the newly developed labyrinth feeding electrode.

1. 研究開始当初の背景

放電加工では加工屑の排出や極間の冷却のために工具電極の回転が効果的である。しかし、従来の RC 放電回路ではブラシを用いて給電するため、工具電極の高速回転が困難である。一方、筆者らが開発した静電誘導給電は、図 1 に示すように給電電極と回転軸との隙間に形成される静電容量 C_i (以降は給電容量と呼ぶ) を介してパルス電圧を印加するので、非接触給電が可能である。しかし、隙間の容量は小さいので、十分大きな放電エネルギーが得られない。そこで、非接触給電によって仕上げ加工から荒加工までが行える静電誘導給電法の開発が望まれる。

2. 研究の目的

高周波放電の持続時間の制御によって、一

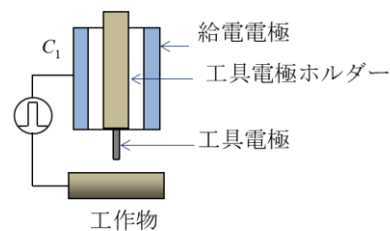


図1 静電誘導給電を用いた高速工具回転放電加工

回の放電エネルギーの増大とその制御を可能にする。さらに、放電周波数を放電回路の共振周波数と整合させることにより、放電エネルギーを最大化し、仕上げ加工から荒加工までの高速回転加工を可能にする。そして、工具電極の回転数が加工特性に及ぼす影響を、開発したパルス列制御静電誘導給電法によ

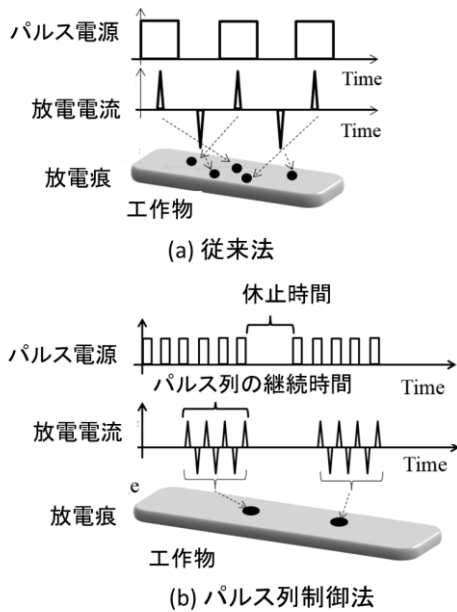


図2 パルス列制御による静電誘導給電を用いた高速工具回転放電加工

り明らかにする。

3. 研究の方法

図2に示すように、パルス電源の周波数を上げていくと、高周波放電が一箇所では生じるようになる。そこで、図3のように放電が生じたことを検出してからある一定の継続時間だけ高周波放電を継続させる。これによって、一定の大きさの放電エネルギーが放電点に投入され、一定の大きさの放電痕が得られる。

4. 研究成果

(1) パルス列の継続時間の影響

まず、パルス列の継続時間が加工速度に及ぼす影響を調べた。図4は、470pFの給電容量と、5MHzのパルス電圧を用いた場合、絶縁破壊後のパルス列の継続時間が300nsと1400nsのときの加工面の比較である。300nsの場合は8回の両極性放電が生じ、1400nsの場合は16回の両極性放電が生じた。継続時間が長いほど放電痕が大きいので、継続時間中に放電が途切れることなく持続していることが分かる。そこで、継続時間が加工速度

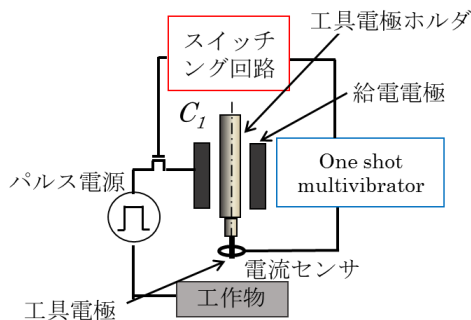


図3 非接触給電による加工実験

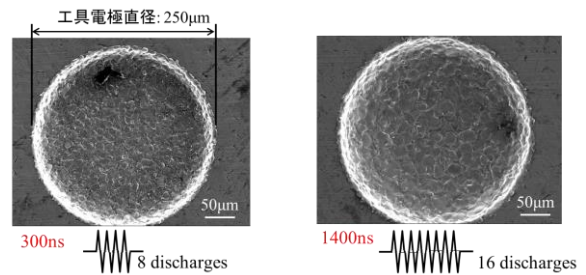


図4 パルス列の継続時間が放電痕直径に及ぼす影響(5MHz, 470pF)

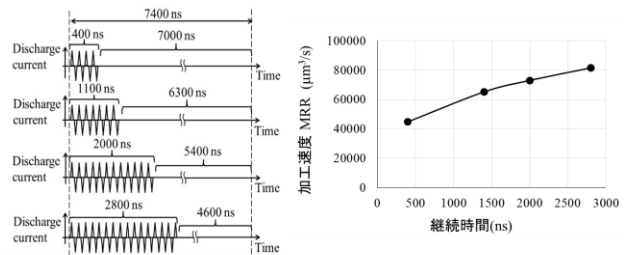


図5 パルス列の継続時間が加工速度に及ぼす影響(5MHz, 470pF)

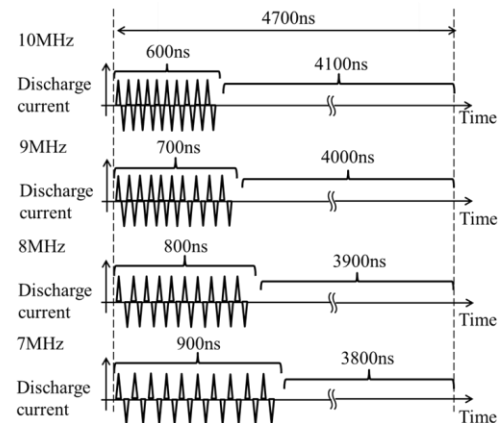


図6 パルス電圧の周波数が加工速度に及ぼす影響 (L: 1µH, C₁: 220pF)

への影響を調べた結果、図5に示すようにパルス列の継続時間とともに加工速度が増大することが分かった。

(2) パルス電圧の周波数の影響

次に、パルス電圧の周波数が加工速度に及ぼす影響を調べた。ひとつのパルス列の継続時間中に発生する両極性放電の回数を20回と一定にして、パルス列の出現周期も一定に

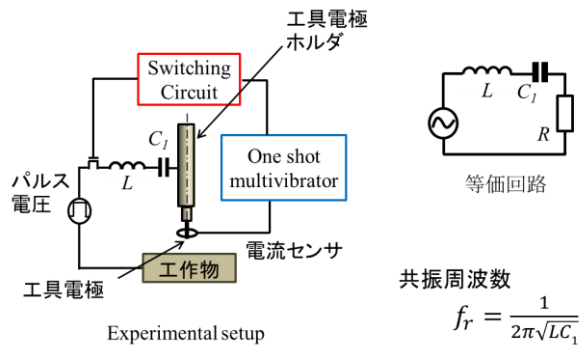


図7 放電回路と共振周波数

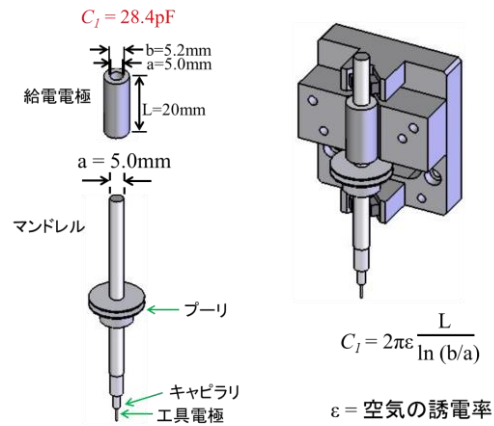


図10 非接触給電の給電容量

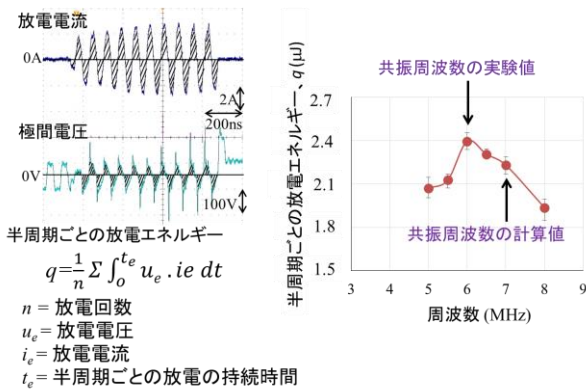


図8 共振周波数と放電エネルギーの最大値
($C_j = 470\text{pF}$, $L = 1\mu\text{H}$)

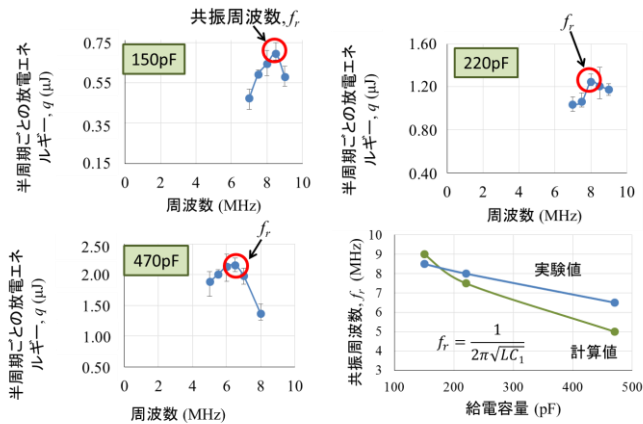


図9 給電容量と共振周波数 ($L: 2\mu\text{H}$)

なるように休止時間を図6のように設定した。そして、工具電極の送り速度を変えて穴加工の加工速度を調べた。加工速度は、加工された穴の体積を時間で除して求めている。工具電極の送り速度に比例して加工速度が増大するが、除去速度が追いつかなくなると工具電極と工作物が短絡し、加工が進まなくなる。よって、衝突が生じない限界の送り速度が加工速度の最大値を表す。図6より、9MHzで加工速度はピークをとることが分かる。

加工速度が最大となるパルス電圧の周波数が存在することは、図7の放電回路の共振周波数で説明ができる。パルス電圧の周波数が、回路の共振周波数と一致したとき、極間

図11 給電電極のサイズと回路インダクタンスが共振周波数に及ぼす影響

電圧は最大値を示し、半周期ごとの放電エネルギーは図8に示すように最大となる。放電エネルギーが小さいと、パルス列内で高周波放電が持続せず、途中でプラズマが消沈する。従って、パルス列の継続時間中は高周波放電が持続することが、パルス列ごとの放電エネルギーの制御にとって重要である。

この共振周波数は、給電容量の影響を受け、図9に示すように、給電容量 C_1 が大きいほど共振周波数は減少する。しかし、実際に図10に示すように非接触給電を行う場合、その給電容量は 28.4pF と小さい。この容量から計算される共振周波数は非常に高く、一般のパルス電圧発生装置の許容最大周波数を超える。この場合は、回路のインダクタンス L を意図的に大きくして、共振周波数を下げた。例えば、 $7.8\mu\text{H}$ の場合、 8.5MHz まで下げることができる。

(3) 給電容量の増大

放電エネルギーをさらに大きくするために、図11に示す給電電極サイズを大きくした。その結果、給電容量は 111.8pF に増加し、 $2.8\mu\text{H}$ の場合に共振周波数は 8.0MHz となる。

さらに、図12に示すように給電電極の形状をラビリンス型にすることによって、小型でも大きな容量をもつ給電電極を製作することができた。

(4) 工具電極回転数の影響

図11の111.8pFの給電電極を用いて、工具電極回転数が加工速度に及ぼす影響を調べた結果を図13に示す。一定の送り速度で加工した場合、900rpmの場合よりも3300rpmの方が、5倍の送り速度で加工することが可能であった。また、板厚200 μm の貫通穴加工を行い、穴径の比較を行った。図14に示す測定結果より、入口と出口の穴径の差は低速回転の方が大きく、高速回転の方がよりストレートな加工が可能であることが分かった。これは、側面の放電ギャップが小さいからである。

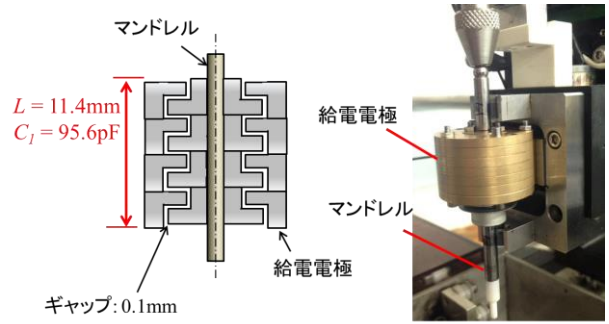


図12 ラビリンス型給電電極

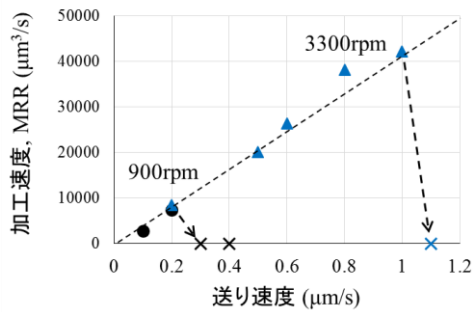


図13 工具電極回転数が加工速度に及ぼす影響

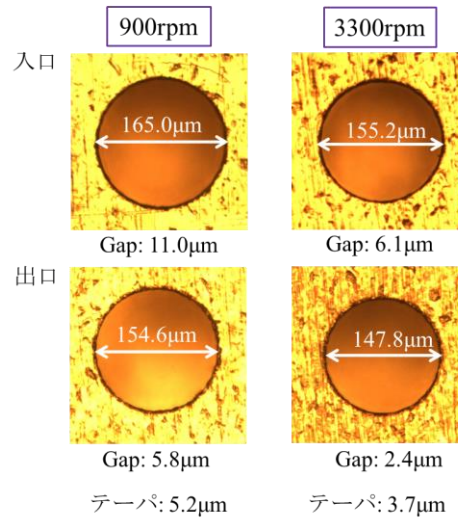


図14 貫通穴加工の加工精度 (工具電極直径:143 μm 、工作物板厚:200 μm 、送り速度:0.2 $\mu\text{m/s}$)