

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 31 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K13843

研究課題名(和文) 放電回路の共振を利用した非接触給電による高速工具回転放電加工法の研究

研究課題名(英文) Study on high-spindle-speed EDM with non-contact electrical feeding using resonance of discharge circuit

研究代表者

國枝 正典(Kunieda, Masanori)

東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・教授

研究者番号：90178012

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：放電加工では加工屑の排出や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、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、給電電極と回転軸との隙間に形成される静電容量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、高周波放電の持続時間の制御によって、一回の放電エネルギーの増大とその制御を可能にした。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が可能になった。

研究成果の概要(英文)：In EDM, the tool electrode is rotated to flush the debris in the gap and to cool the electrode surface. In RC circuit however, a brush is used to connect the power supply to the tool electrode. Thus, it is difficult to rotate the tool at high speed. With the electrostatic induction feeding method, since a pulse voltage is coupled to the discharge gap by a capacitance existing between the feeding electrode and the rotating spindle, non-contact electrical feeding can be realized. However, since the capacitance is extremely small, the discharge energy per pulse is insufficient to conduct rough machining. To overcome the problem, controlled pulse train method was introduced. High frequency discharge is allowed to continue within a controlled pulse train duration. By utilizing resonance in the circuit, the amplitude of the gap voltage can be amplified higher than the AC power supply. As a result, high-spindle-speed machining became possible under finishing to rough machining conditions.

研究分野：特殊加工

キーワード：放電加工 微細加工 非接触給電 静電誘導給電 高速工具回転 共振 放電回路

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_1 (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。

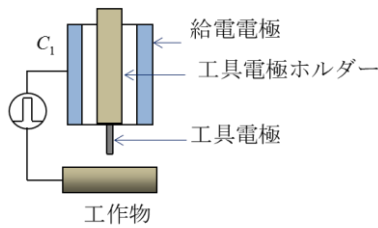


図1 静電誘導給電を用いた高速工具回転放電加工

2. 研究の目的

高周波放電の持続時間の制御によって、一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り明らかにする。

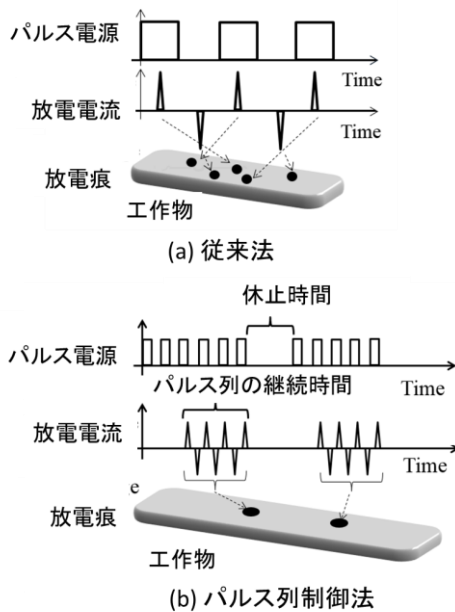


図2 パルス列制御による静電誘導給電を用いた高速工具回転放電加工

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持続させる。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。

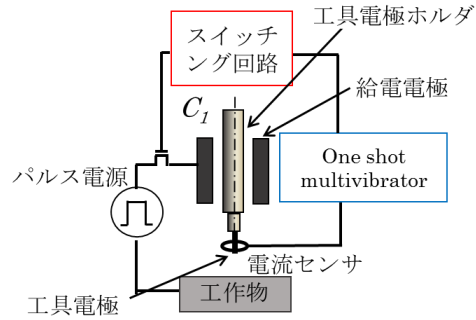


図3 非接触給電による加工実験

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。

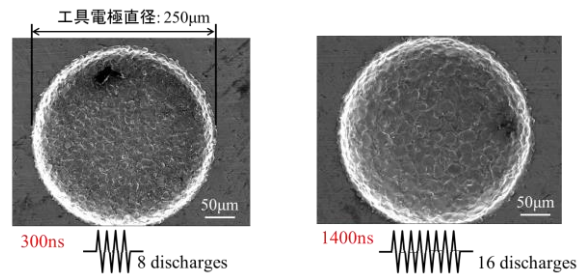


図4 パルス列の継続時間が放電痕直径に及ぼす影響 (5MHz, 470pF)

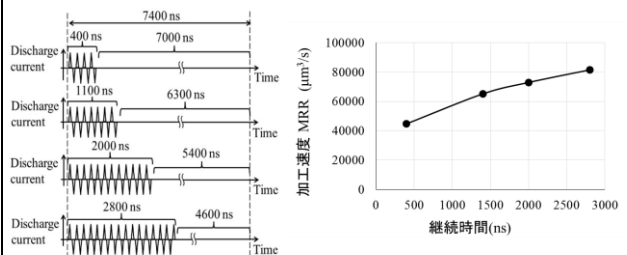


図5 パルス列の継続時間が加工速度に及ぼす影響 (5MHz, 470pF)

(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。

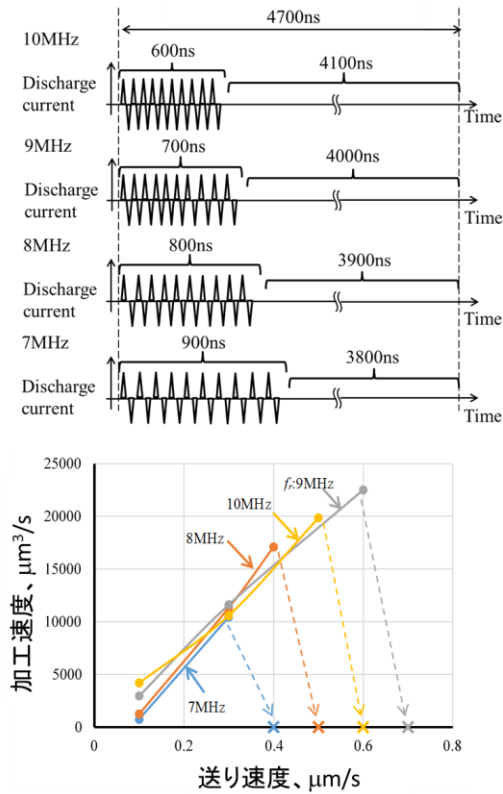


図6 パルス電圧の周波数が加工速度に及ぼす影響 ($L: 1\mu\text{H}$, $C_j: 220\text{pF}$)

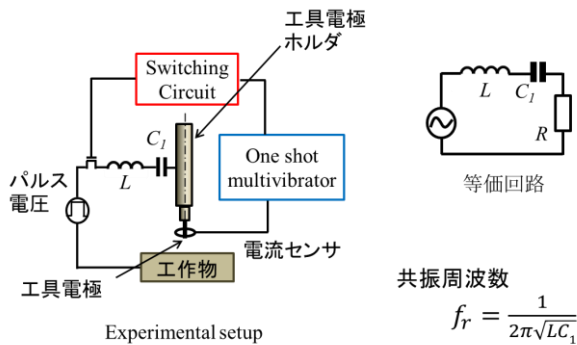


図7 放電回路と共振周波数

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_1}}$$

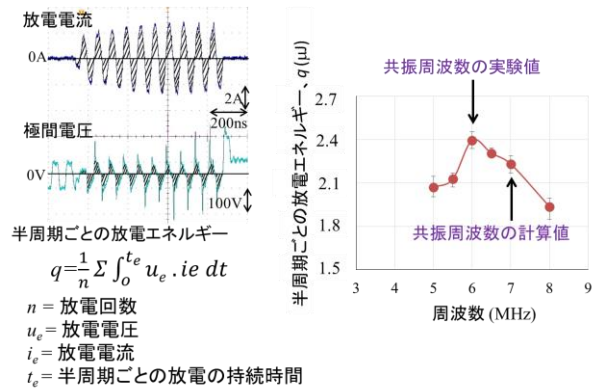


図8 共振周波数と放電エネルギーの最大値 ($C_j = 470\text{pF}$, $L = 1\mu\text{H}$)

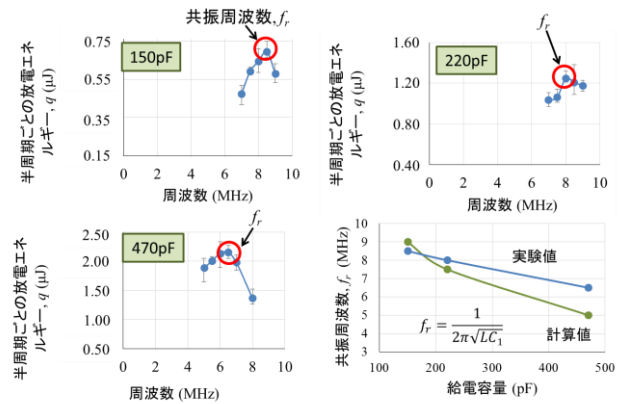


図9 給電容量と共振周波数 ($L: 2\mu\text{H}$)

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。

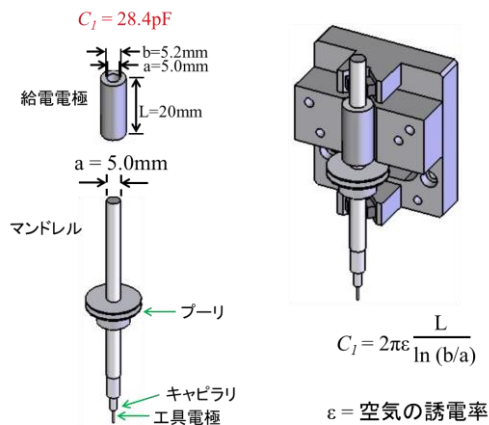


図10 非接触給電の給電容量

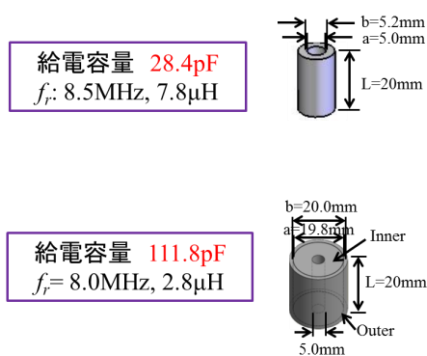


図11 給電電極のサイズと回路インダクタンスが共振周波数に及ぼす影響

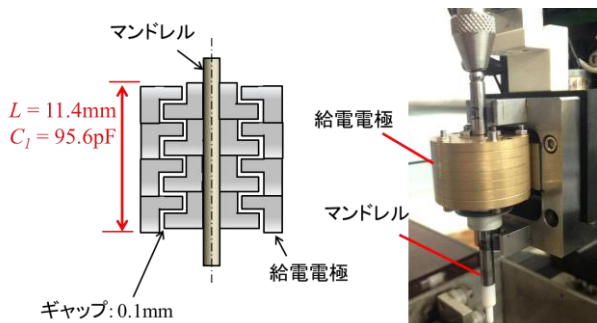


図12 ラビリンス型給電電極

(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、2.8μH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

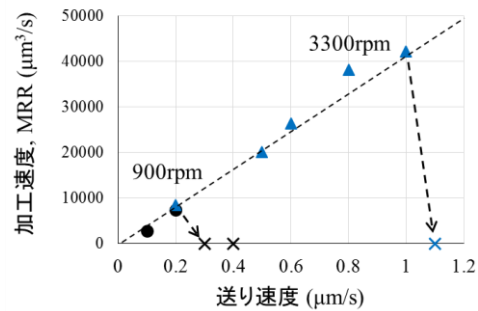


図13 工具電極回転数が加工速度に及ぼす影響

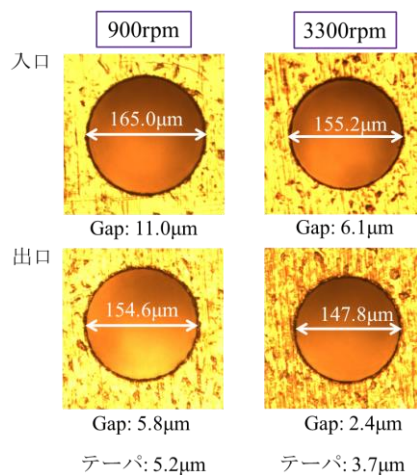


図14 貫通穴加工の加工精度(工具電極直径:143μm、工作物板厚:200μm、送り速度:0.2μm/s)

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200μm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。

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1件)

- (1) Norliana Mohd Abbas, Masanori Kunieda, Increasing discharge energy of micro-EDM with electrostatic induction feeding method through resonance in circuit, Precision Engineering, 査読有、45, 118–125 (DOI 10.1016/j.precisioneng.2016.02.002) (2016)

[学会発表] (計 5 件)

- (1) Norliana Mohd Abbas, Masanori Kunieda, Micro Drilling EDM with Non-contact Controlled Pulse Train Method, 2016年度精密工学会秋季大会講演論文集、165-166, (2016. 9. 6-8, 茨城大学 (茨城県・水戸市))
- (2) Norliana Mohd Abbas, Masanori Kunieda, Micro EDM with controlled pulse train method using small feeding capacitance, 18th CIRP conference on Electro Physical and Chemical Machining (ISEM XVIII), 737-742 (2016. 4. 21, 東京大学 (東京都))
doi:10.1016/j.procir.2016.02.311
- (3) Norliana Mohd Abbas, Masanori Kunieda, Observation of the concentration of discharges for micro EDM with controlled pulse train method using transparent electrode, 電気加工学会全国大会(2015)、(2015. 12. 3-4, 四国大学交流プラザ (徳島県・徳島市))
- (4) Norliana Mohd Abbas, Masanori Kunieda, Increasing Discharge Energy in Micro EDM of Non-contact Electrical Feeding through Resonance in Circuit, Proc. LEM 21 in Kyoto, (2015. 10. 19-21, 京都市リサーチパーク (京都市))
- (5) Norliana Mohd Abbas, Masanori Kunieda, Increasing Discharge Energy in Micro EDM of Non-contact Electrical Feeding using Electrostatic Induction Feeding Methods by re-designing the Feeding Electrodes, 2015 年度精密工学会秋季大会講演論文集、(2015. 9. 4-6, 東北大学 (宮城県・仙台市))

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 1 件)
名称：放電加工装置及び放電加工方法
発明者：国枝正典
権利者：東京大学、新日鉄住金マテリアルズ
種類：特許
番号：特許願 2014-244691 号
出願年月日：平成 26 年 12 月 3 日
国内外の別：国内

○取得状況 (計 1 件)

名称：放電加工装置及び放電加工方法
発明者：国枝正典
権利者：東京大学
種類：特許
番号：特許第 6032726 号
出願年月日：平成 24 年 2 月 29 日
取得年月日：平成 28 年 11 月 4 日
国内外の別：国内

[その他]
ホームページ等
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者
国枝 正典 (Kunieda Masanori)
東京大学・大学院工学系研究科・教授
研究者番号：90178012

(2) 研究分担者
なし

(3) 連携研究者
なし