

平成 21 年 6 月 12 日現在

研究種目：基盤研究（B）  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19360059  
 研究課題名（和文） 静電誘導給電によるナノ放電加工法の研究  
 研究課題名（英文） Study on Nano Electrical Discharge Machining using Electrostatic Induction Feeding Method  
 研究代表者  
 國枝 正典 (KUNIEDA MASANORI)  
 東京農工大学・大学院共生科学技術研究院・教授  
 研究者番号：90178012

研究成果の概要：サブミクロンオーダの微細放電加工を可能にするパルス放電回路を開発した。従来の RC 放電回路では、回路や加工装置に寄生する浮遊容量が最小の放電エネルギーを決めていた。そこで、浮遊容量の影響を除くため、パルス電源を工具電極に容量結合することにより、RC 放電回路では得られない微小な放電エネルギーを実現した。その結果、0.8 $\mu\text{m}$  の直径の微細軸を加工することができた。また、微細ワイヤ放電加工に応用し、 $\phi 30\mu\text{m}$  のワイヤ電極への非接触給電が可能であることを実証した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	9,400,000	2,820,000	12,220,000
2008 年度	4,200,000	1,260,000	5,460,000
総計	13,600,000	4,080,000	17,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：放電加工、ワイヤ放電加工、微細加工、放電回路、放電エネルギー、静電誘導、RC 放電回路、容量結合

## 1. 研究開始当初の背景

放電加工は導電性の材料であれば硬さによらず非接触で加工できるため微細加工に適している。従来の放電回路は RC 放電回路であり、コンデンサの充放電によりパルス放電がなされる。従って、コンデンサ容量を小さくすれば放電エネルギーを小さくできるが、給電線の間や、工具電極ホルダと工作物テーブル間などに浮遊容量が潜在するので、外付けのコンデンサを取り外したとしても、浮遊容量によって最小の放電エネルギーの限界が決定される。よって、従来の RC 放電回路で得られる最小の放電痕径は約 2 $\mu\text{m}$  であった。従って、微細軸の加工を例にとると、2.3 $\mu\text{m}$  以下の直径を得ることは困難であった。

## 2. 研究の目的

そこで、直流電源に代えてパルス電源を使用し、パルス電源をコンデンサを介して工具

電極に容量結合する。この静電誘導給電に基づく放電回路を新たに開発し、浮遊容量の影響を受けず、より微小な放電エネルギーで加工が行える微細放電加工を試みる。そして、従来の RC 放電回路を用いては困難なナノメートルオーダの加工の実現を目的とする。

## 3. 研究の方法

## (1) 静電誘導給電法による放電加工の原理

図 1 は従来の RC 放電回路である。コンデンサ C が充電されるとともに工具電極と工作物とのギャップ電圧が上昇し、パルス放電が生じる。このときの放電エネルギーは充電エネルギーにほぼ等しい。放電が終了するとギャップの絶縁が回復し、再びコンデンサの充電が始まり、パルス放電が繰り返される。加工の微細化のためには、C を小さくして放電エネルギーを極小化しなければならない。しかし、実際には外付けのコンデンサを取外

したとしても、給電線の間や、工具電極ホルダと工作物テーブル間などに浮遊容量  $C_s$  が潜在するので、 $C_s$  で決まる放電エネルギー以下は実現できない。

そこで、図2に示す静電誘導給電法を用いた放電回路を新たに開発した。直流電源の代わりにパルス電源を用い、パルス電源を直列につないだコンデンサ  $C$  を介して放電ギャップに接続する。これによって、浮遊容量の影響を除くことができるので、RC放電回路では理論的に不可能な微小な放電エネルギーが得られる。また、この方法では図3に示すように、パイプ状の給電電極をスピンドルと同軸上に配置し、パイプ電極とスピンドルとの間の静電容量を利用して工具電極に非接触で給電できる。従って、高速で回転するスピンドルや静圧軸受、磁気軸受を用いたスピンドルへの給電が容易になり、軸振れを生じさせることなく高精度な加工が可能となる。

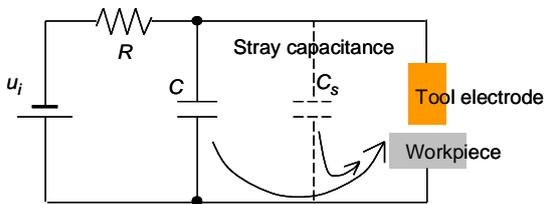


図1 RC放電回路における浮遊容量の影響

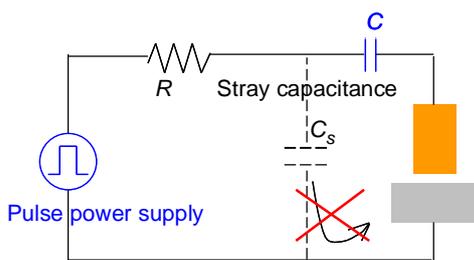


図2 静電誘導給電法

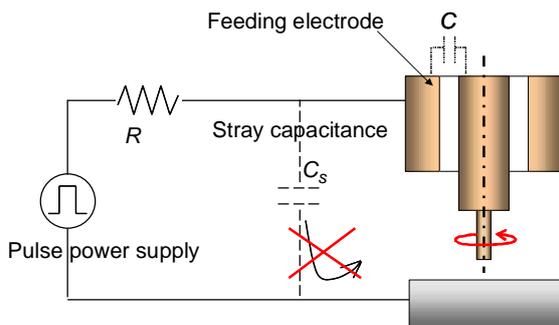


図3 高速回転主轴への非接触給電

## (2) 微細ワイヤ放電加工への応用

図4は静電誘導給電法のワイヤ放電加工への応用を示す。図4の例では、外付けのコンデンサを用いて容量結合し、ワイヤへの給電はブラシを用いている。しかし、外付けのコンデンサを用いることなく、ブラシの代わりに絶縁体を介して容量結合すれば、ワイヤ電極への非接触給電が可能となる。従って、ブラシの摩耗や、ブラシを一方向からワイヤに押し付けることによる、加工精度の切断方位依存性の問題が解消する。

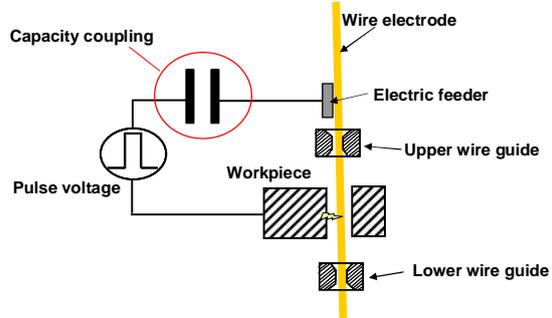


図4 ワイヤ放電加工への応用

## 4. 研究成果

### (1) 放電の安定性

図5と図6は、RC放電回路と静電誘導給電法を用いた場合の放電電流波形である。RC放電回路の場合は、パルス放電ごとに休止時間が設けられていないので、放電ギャップでの絶縁回復が十分でない場合、充電が完了しないうちに放電が生じ、放電が時間的に集中して生じる場合がある。従って、放電頻度が一定ではなく、加工が不安定となりやすい。また、放電が集中して生じると、工作物表面温度が過度に上昇し、熱応力が残留しやすく、クラックなどのダメージが生じやすい。

一方、静電誘導給電の場合は、パルス電源の極性が反転するごとに、発生する放電は1回限りなので、放電頻度はほぼ一定であり、放電の間に確実に休止時間が確保されることが分かった。なお原理上、静電誘導給電法の場合は図6のように両極性放電となる。

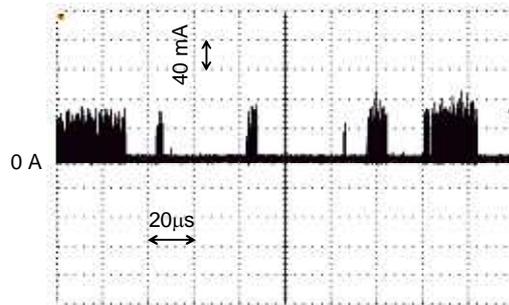


図5 RC放電回路による放電電流波形

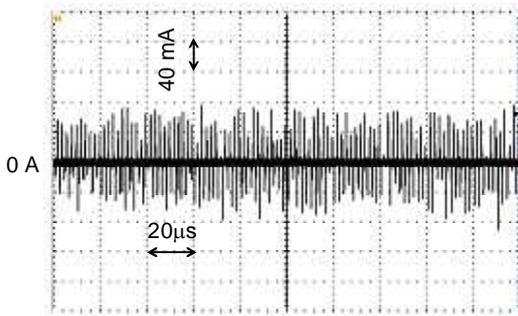


図6 静電誘導給電法による放電電流波形  
( $R=15\text{ k}$  ,  $C=15\text{ pF}$ , パルス電源電圧: 40 V)

(2) 静電誘導給電法による微細加工

静電誘導給電法を用いて超合金の微細軸を加工した。RC放電回路を用いて $\phi 5\text{ }\mu\text{m}$ の微細軸を加工した後、静電誘導給電法を用いて切込量 $0.3\text{ }\mu\text{m}$ の仕上げ加工を6回繰返し、 $\phi 1.3\text{ }\mu\text{m}$ の微細軸が得られた。これは、従来のRC放電回路を用いた微細化の限界 $\phi 2.3\text{ }\mu\text{m}$ を大きく上回る結果である。仕上げ加工の加工時間は18分であった。

また、図8は図7の微細軸を工具電極として用いて、微細穴を加工した例である。このときの微細軸の極性はマイナスであり、図7の微細軸の加工時とは逆である。

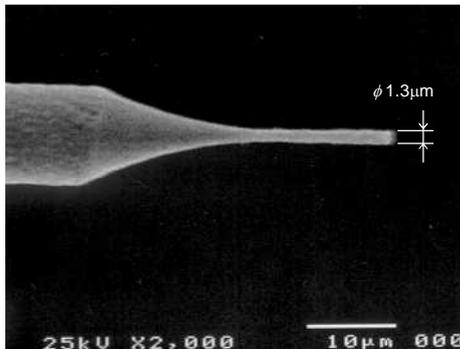


図7 静電誘導給電法を用いた超合金軸の加工例

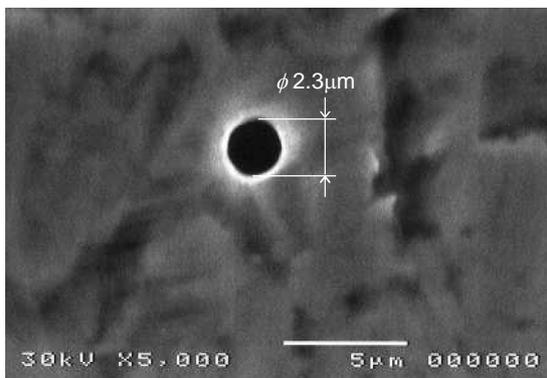


図8 ステンレス箔に静電誘導給電法を用いて加工した深さ $4\text{ }\mu\text{m}$ の微細穴

図9は、直径がサブミクロンの超合金の微細軸の加工例である。現在、放電加工を用いて得られる微細軸として世界最小の加工例である。

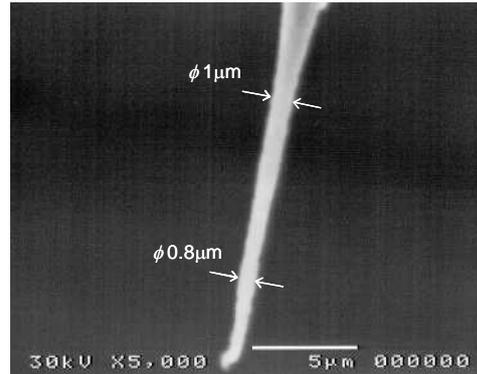
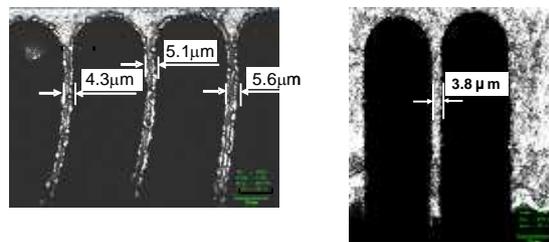


図9 直径がサブミクロンの超合金軸の加工例

(3) 静電誘導給電法を用いた微細ワイヤ放電加工

図10はRC放電回路と静電誘導給電法を用いて微細な梁をワイヤ放電加工した例である。静電誘導給電法の方が放電エネルギーが小さい。しかも、RC放電回路の場合は放電頻度が不均一であるため、放電の集中時の熱的負荷が大きく、工作物面に生じる引張残留応力が静電誘導給電法より大きいと考えられる。従って、RC放電回路の場合は残留応力の影響により梁が屈曲しており、静電誘導給電法の場合には、RC放電回路よりも幅が狭いにもかかわらず真直な梁が加工できていることが分かる。



(a) RC放電回路

(b) 静電誘導給電法

図10 マイクロワイヤ放電加工による残留応力の影響  
(板厚 $90\text{ }\mu\text{m}$  ゲージ鋼板、ワイヤ電極径  $\phi 30\text{ }\mu\text{m}$ )

(4) ワイヤ電極への非接触給電の試み

図11に示すように、 $30\text{ }\mu\text{m}$ の板厚のテフロンシートを介して、ワイヤ電極へ非接触給電を試みた。長さ $L=150\text{ mm}$ の給電電極を用いて、図12に示すように幅 $3.7\text{ }\mu\text{m}$ 、長さ $60\text{ }\mu\text{m}$ の微細な梁が加工できた。

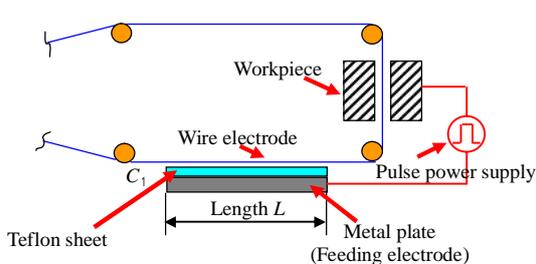


図 1 1 ワイヤ電極への非接触給電

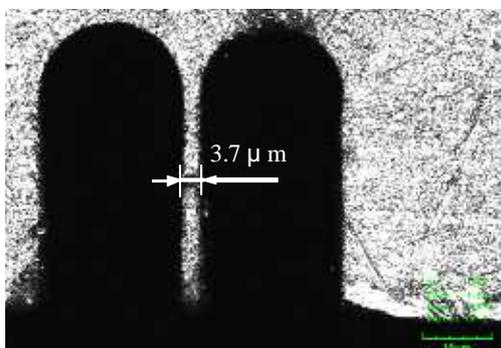


図 1 2 非接触給電によりワイヤ放電加工された微細梁 (工作物: 板厚 20μm ゲージ鋼板、ワイヤ電極径 30μm)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

Xiaodong Yang, M. Kunieda, S. Sano, Study on Influence of Stray Capacitance on Micro EDM using Electrostatic Induction Feeding, IJEM (International Journal of Electrical Machining), No. 13, pp.35-40, 2008. (査読有)

M. Kunieda, A. Hayasaka, X. D. Yang, S. Sano, and I. Araie, Study on Nano EDM Using Capacity Coupled Pulse Generator, Annals of the CIRP, Vol. 56 No.1, pp.213-216, 2007. (査読有)

〔学会発表〕(計 8 件)

木森将仁, 国枝正典, 静電誘導給電法を用いた微細放電加工の微細化限界, 2009 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, pp.851-852, 2009.3.11 (東京).

木森将仁, 国枝正典, 静電誘導給電を用いた微細放電加工における放電痕径分布, 2008 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, pp.667-668, 2008.9.17 (仙台).

小谷野智広, 国枝正典, 静電誘導給電法を用いた微細放電加工の加工安定性, 2008 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, pp.669-670, 2008. 9.17 (仙台).

楊 曉冬, 徐 春偉, 国枝正典, 静電誘導給電法によるワイヤ放電加工の微細化, 2008 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, pp.671-672, 2008. 9.17 (仙台).

Xiaodong Yang, Masanori Kunieda, Sadao Sano, Study on Influence of Stray Capacitance on Micro EDM using Electrostatic Induction Feeding, Proc. of Asian Electrical Machining Symposium '07, pp.236-241, 2007.11.28 (名古屋).

M. Kimori, M. Kunieda, S. Sano, Mechanism of Determining Discharge Energy in Electrostatic Induction Feeding EDM, Proc. of Asian Electrical Machining Symposium '07, pp.242-245, 2007.11.28 (名古屋).

木森将仁, 国枝正典, 佐野定男, 静電誘導給電法を用いた放電加工におけるインダクタンスの影響, 2007 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, pp.95-96, 2007.9.12 (旭川).

小谷野智広, 木森将仁, 国枝正典, 佐野定男, 静電誘導給電を用いたワイヤ放電加工に関する研究, 2007 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, pp.97-98, 2007.9.12 (旭川).

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称: 放電加工装置

発明者: 楊曉冬, 国枝正典, 佐野定男, 新家一朗  
権利者: 同上

種類・番号: 国際特許出願, PCT/JP2007/000945  
出願年月日: 2007 年 8 月 31 日

国内・外国の別: 外国

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者:

国枝 正典 (KUNIEDA MASANORI)  
東京農工大学・大学院共生科学技術研究院・教授、研究者番号: 90178012

(2) 研究分担者:

夏 恒 (NATSU WATARU)  
東京農工大学・大学院共生科学技術研究院・教授、研究者番号: 40345335

(3) 連携研究者: なし

(4) 研究協力者:

楊 曉冬 (YANG XIAODONG)  
ハルビン工業大学・機電工程学院・助教授  
佐野 定男 (SANO SADAŌ)  
株式会社ソディック・S A 本部・本部長