

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 20 日現在

機関番号：84415

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560139

研究課題名（和文）

ハイブリッド放電パルスによるダイヤモンド工具の高精度放電ツルージング技術の開発

研究課題名（英文）

Precise Electrical Discharge Truing for Diamond Tools using Bi-polar Pulse Generator

研究代表者

南 久（MINAMI HISASHI）

大阪府立産業技術総合研究所・機械金属部・主任研究員

研究者番号：10359375

研究成果の概要（和文）：

非導電体であるダイヤモンド粒子自体を直接加工する放電加工技術について、加工能率の向上を目的として、異なる極性の放電パルスを切り替えて与える両極性パルスによる放電加工法について検討した。その結果、一般的に行われる単極性による放電加工法に比べて加工速度や電極消耗率を改善することができた。また、それぞれの極性パルスの複合割合についても調べ、加工速度が向上する適切な複合割合を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

Although electrical discharge machining (EDM) of Sintered polycrystalline diamond (PCD) is possible, the removal rate is extremely low. We investigated the possibility to apply the Bi-polar Pulse for the EDMing of PCD. We confirmed that the removal rate of PCD using the bi-polar pulse is higher than using normal pulse (electrode positive or negative polarity). Moreover, the electrode wear ratio is also improved.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

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，ダイヤモンド，PCD，ツルージング，工具

## 1. 研究開始当初の背景

近年、光学機器や情報機器などの高度化にともなって、高精度微細加工技術への要望は高まっている。特に、これらの部品を量産するための金型製造においては、超硬合金やSiCなどのセラミックスを高精度に加工できる技術が求められており、このような加工法として、マイクロ研削加工が有望視されて

いる。しかし、その実現には、加工技術の高度化に加えて高品質なマイクロ工具の成形と回転振れなどの機上修正を含めたツルージング技術の開発が重要な課題となっている。

電着ダイヤモンド砥石や焼結ダイヤモンドなどのダイヤモンド製マイクロ工具を成形（ツルージング）する場合、従来の機械的なツルージングでは、加工反力が大きいため、

剛性の低いマイクロ工具への適用は難しい。また、放電加工によるツルーイングでは、加工反力は小さいものの非導電体のダイヤモンド粒子を直接加工できないため、高精度なツルーイングは困難である。

我々は、絶縁性セラミックスの放電加工で行われているように、放電加工中に生成する熱分解カーボンを導電性皮膜としてダイヤモンド上に形成させながら放電加工を行うことによって、ダイヤモンド粒子の放電加工が可能であることを示した。しかし、導電性のないダイヤモンドの放電加工は不安定で加工能率が低いことが実用上の課題である。

## 2. 研究の目的

(1) 本研究は、通常の導電性のないダイヤモンドを砥粒とする砥石や焼結ダイヤモンドに対して、高精度なマイクロ工具の成形や形状修正が行える放電ツルーイング技術の開発を目的とし、非導電体であるダイヤモンド自体を高精度、高能率に加工できる放電加工技術を確立する。

(2) 目的達成のため具体的には、①ダイヤモンドの放電加工に不可欠な導電性皮膜の形成と除去加工にそれぞれ適した放電パルス条件を明らかにするとともに、②これらの放電パルスを複合して与えるハイブリッド放電パルスについて検討し、③ダイヤモンド工具の放電ツルーイングに適用した場合の有効性を検証する。

## 3. 研究の方法

(1) ダイヤモンド粒子の放電加工に有効な放電パルス条件の検討

ダイヤモンドの放電加工では、非導電体であるダイヤモンド粒子の表面に加工油から生成される熱分解カーボンを導電性皮膜として形成するとともに放電による除去加工を同時に進める必要がある。そこで、通常の単極性での放電加工実験を行い、ダイヤモンド粒子の放電加工特性について調べる。

(2) 両極性パルスによる放電加工に関する検討

加工中に定期的に極性を反転させる両極性パルスや2種類の異なる放電パルスを適当に切り替える異種両極性パルスによる放電加工(図1)を可能にし、PCDの加工に対する有効性を明らかにする。また、両極性パルスによる放電加工について、効果的な加工条件について調べる。

## (3) マイクロ工具の製作と加工実験

マイクロ工具を放電成形し、形状精度を調べる。また、製作した工具を用いて、切削や研削加工実験を行い、工具としての性能を評価する。

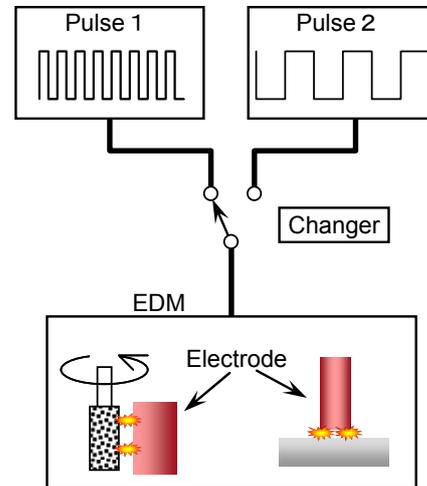


図1 両極性パルスによる放電加工の概略図

## 4. 研究成果

(1) ダイヤモンド粒子の放電加工に有効な放電パルス条件の検討

焼結ダイヤモンド(PCD)をそれぞれ単極性で加工した場合の放電持続時間と加工速度の関係を図2に、それぞれの極性で得られた代表的な加工面のSEM像を図3に示す。PCDを(-)とした逆極性加工では、放電持続時間によらず加工速度はほぼ一定値を示す。また、逆極性加工で得られた加工面には、部分的に深い加工痕が観察されるが、導電性のないダイヤモンド粒子は加工されずに残っている。一方、PCDを(+)とした正極性加工では、比較的平滑な加工面が形成されており、ダイヤモンド粒子は直接放電加工されてい

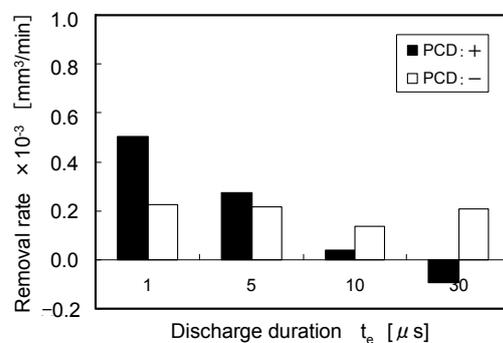
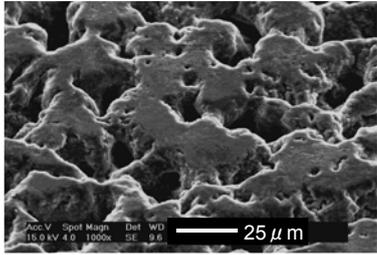
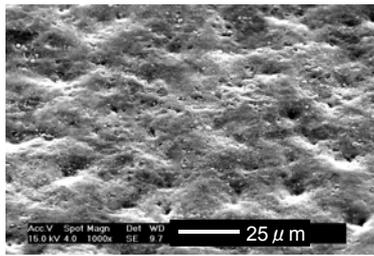


図2 極性、放電持続時間と加工速度

る。また、正極性加工では、放電持続時間 ( $t_e$ ) が長いほど加工速度は低下し、特に  $t_e = 30\mu\text{s}$  以上では、加工速度は負の値を示す。



(a) PCD : (-)



(b) PCD : (+)

図 3 放電加工面の SEM 像 ( $t_e=5\mu\text{s}$ )

正極性加工で得られた加工面を EDX 分析したところ、図 4 に示すように加工面からは PCD の構成素材を示す C, Co 以外に工具電極材料 (CuW 合金) の Cu, W が検出された。このことから、放電加工時に電極材料が加工面へ転写されたといえる。すなわち、PCD を (+) とする正極性加工では、熱分解カーボンに加えて、工具電極材料が加工面へ転写され、これが PCD の加工速度を低下させる。一方、PCD を (-) とする逆極性加工では、熱分解カーボンや工具電極材料が加工面へ形成されない。このことから、両極性パルスを用いて極性を切り替えながら加工すれば、加工面に形成される熱分解カーボンや工具電極材料を適度に除去することができ、加工能率を向上させることができると考えられる。

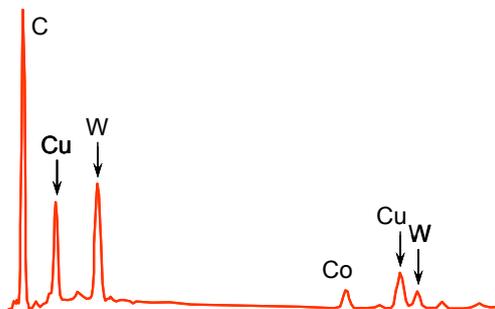


図 4 放電加工面の EDX 分析 (PCD: (+))

## (2) 両極性放電パルスによる放電加工に関する検討

形彫り放電加工機の電源回路にトランジスタによるスイッチング (Ps) によって電極極性を反転させる装置を付加した。図 5 に正極性パルス、逆極性パルスを 150 パルスごとに切り替える両極性パルスで加工した場合の電圧電流波形を示す。

図 6 は、単極性、および両極性パルスで加工した場合の加工面の断面曲線を示す。PCD:(-)の単極性では、加工面はとところ深く加工されてはいるものの、ダイヤモンド粒子は、加工されずに残っており、全体的

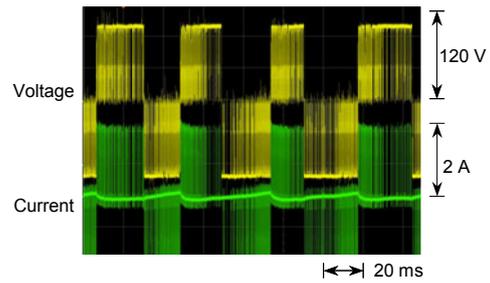
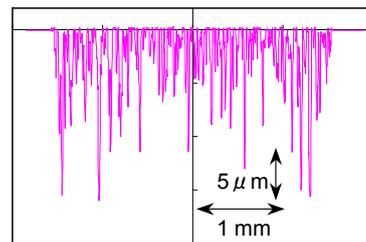
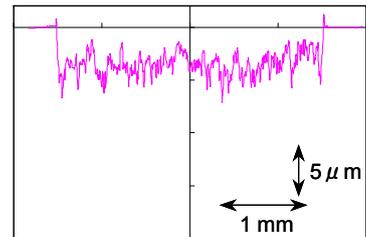


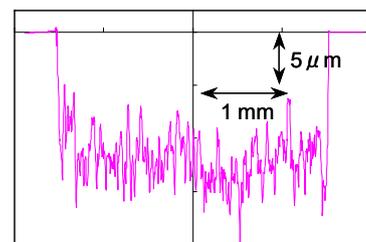
図 5 放電加工面の EDX 分析 (PCD: (+))



(a) 単極性加工 PCD : (-)



(b) 単極性加工 PCD : (+)



(c) 両極性加工

図 6 放電加工面の断面曲線

に除去加工は進行していない。一方、PCD:(+)の単極性加工では、全体的に加工は進んでいるものの、除去量は比較的少ない。これに対して、両極性パルスで加工した場合、単極性加工に比べて、深く加工されおり、両極性パルスが PCD の加工速度を向上させるのに有効であるといえる。

### (3) マイクロ工具の製作と加工実験

得られた結果をもとに PCD のマイクロ工具を製作した (図 7)。直径  $\phi 3\text{mm}$  の円筒形 PCD の先端部  $1.5\text{mm}$  の長さを直径  $\phi 90\mu\text{m}$  に放電加工した。回転時の形状精度は、先端から  $1\text{mm}$  の範囲で  $\pm 0.7\mu\text{m}$  以下であった。また、この工具を用いて、超硬合金に対する研削加工実験を試みた。厚さ  $1\text{mm}$  の超硬合金に放電加工で貫通した穴の内面を本工具を用いて研削仕上げを行った。図 8 に示すように、直径： $\phi 100\mu\text{m}$  の穴の内面を鏡面に仕上げることができ、研削加工用の工具として十分使用できることを確認した。

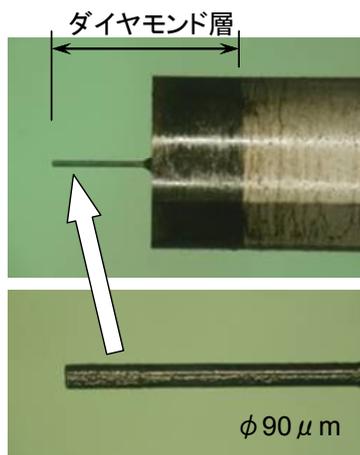


図 7 放電加工面の EDX 分析 (PCD: (+))

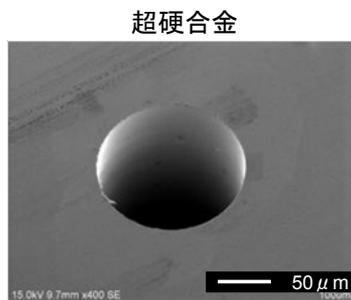


図 8 微細穴の加工例 ( $\phi 100\mu\text{m}$ , 深さ  $1\text{mm}$ )

### 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 5 件)

- ① Hisashi MINAMI, Koji WATANABE, Kiyonori MASUI, Electrical Discharge Truing for Sintered Polycrystalline Diamond Tools, International Journal of Electrical Machining, 査読有, No.17, 2012, pp.7-13
- ② 渡邊幸司, 南久, 平松初珠, 増井清徳, 電着ダイヤモンド砥石の放電ツルーイング法の開発, 大阪府立産業技術総合研究所報告, 査読無, No.25, 2011, pp.47-53
- ③ Koji WATANABE, Hisashi MINAMI and Kiyonori MASUI, Electrical Discharge Truing for Micro Electroplated Diamond Tool, Proc. of the 16th International Symposium on ElectroMachining, 査読有, Vol.16, 2010, pp.109-113
- ④ 渡邊幸司, 南久, 平松初珠, 増井清徳, 小径軸付電着ダイヤモンド砥石の放電ツルーイング, 電気加工学会誌, 査読有, Vol.44, 2010, pp.125-132
- ⑤ 南久, 渡邊幸司, 増井清徳, 鍋倉伸嘉, 放電加工による焼結ダイヤモンド工具の成形加工, 電気加工学会誌, 査読有, Vol.44, 2010, pp.17-24

[学会発表] (計 5 件)

- ① 南久, 両極性パルスによる焼結ダイヤモンドの放電加工 -正負極性パルスの最適化-, 電気加工学会全国大会 (2011), 平成 23 年 11 月 24 日, つくば市
- ② 南久, 両極性パルスによる焼結ダイヤモンドの放電加工特性, 2011 年度精密工学会秋季大会学術講演会, 平成 23 年 9 月 20 日, 金沢市
- ③ 南久, 放電加工による焼結ダイヤモンド工具の成形加工, 第 202 回電気加工研究会, 平成 23 年 6 月 10 日, 東京都
- ④ 渡邊幸司, 軸付電着ダイヤモンド砥石の放電ツルーイング, 日本機械学会 第 8 回生産加工工作機械部門講演会, 平成 22 年 11 月 19 日, 岡山市
- ⑤ 南久, 両極性パルスによる焼結ダイヤモンドの放電加工, 2010 年度精密工学会

秋季大会学術講演会，平成 22 年 9 月 27  
日，名古屋市

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 1 件）

名称：焼結ダイヤモンドの放電加工方法

発明者：南 久，渡邊幸司，和泉康夫，筒井  
長

権利者：地方独立行政法人大阪府立産業技術  
総合研究所，株式会社新日本テック

種類：

番号：特願 2012-118055 号

出願年月日：平成 24 年 5 月 23 日

国内外の別：国内

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

なし

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

南 久 (MINAMI HISASHI)

大阪府立産業技術総合研究所・機械金属  
部・主任研究員

研究者番号：10359375

### (2)研究分担者

渡邊 幸司 (WATANABE KOJI)

大阪府立産業技術総合研究所・機械金属  
部・研究員

研究者番号：40416251

平松 初珠 (HIRAMATSU HATSUMI)

大阪府立産業技術総合研究所・情報電子  
部・研究員

研究者番号：30416250

### (3)連携研究者

なし