

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 5 月 31 日現在

機関番号：17401
 研究種目：奨励研究
 研究期間：2019
 課題番号：19H00255
 研究課題名：パルス放電型微細穴加工機の開発

研究代表者

松田 樹也 (MATSUDA, Mikiya)
 熊本大学 技術部・技術専門職員

交付決定額（研究期間全体）（直接経費）：540,000 円

研究成果の概要：

本研究では、パルス放電による微細穴加工機を開発し、現有のキャパシタ自己放電型の放電加工機との比較により、新しく開発したパルス放電型の優位性を明らかにした。水中放電加工では、自己放電型では放電加工が困難な条件において、パルス放電型では放電加工を実現できた。加工油中での放電加工は、自己放電型で加工ができない低い印加電圧の時に際しても、パルス放電型では放電が発生し加工が進展できる。また、パルス放電型は、低いエネルギーでも放電加工が進展できることが本研究にて明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年の微細精密加工技術は、半導体分野をはじめ電気電子部品、医療用機器、情報通信機器、自動車、環境などの様々な分野にて多大な需要がある。この微細化が進まれている現状にて、マイクロからナノオーダーでの微細加工技術の発展は、増大する一方である。

材料の加工や観察において集束イオンビーム（FIB）装置が用いられるが、加工時間が数 10 時間かかる工程を、微細放電加工機を使用することで数時間という加工時間の大幅な短縮が実現できている。研究時間の短縮を実現するこの放電加工機の性能向上の効果は、極めて大きい。

研究分野：電気電子工学，材料工学

キーワード：放電加工，パルスパワー，微細加工

1. 研究の目的

近年の微細精密加工技術は、半導体分野をはじめ電気電子部品、医療用機器、情報通信機器、自動車、環境などの様々な分野にて多大な需要がある。この微細化が進まれている現状にて、マイクロからナノオーダーでの微細加工技術の発展は、増大する一方である。微細加工技術に

は、化学的反応を利用したエッチング加工や、機械加工技術を微細化したレーザー加工、放電加工などがあり、どれも非接触型の加工機である。これらの非接触型に比べ、接触型加工の研削加工は、ドリルを被加工物に押し当てるために、やわらかい材料や薄い材料では変形の恐れがあり、切りくずによる加工精度の悪化やドリルの折損などのデメリットがある。非接触型の中でも放電加工は、加工工程がシンプルで、初期コストならびにランニングコストが他方式に比べ優位であり、かつ、加工機の製作も容易な方式である。

本研究では、パルス放電による微細穴加工機を開発し、現有のキャパシタ自己放電型の放電加工機との比較により、新しく開発したパルス放電型の優位性を明らかにする。キャパシタ自己放電型の加工システムは、

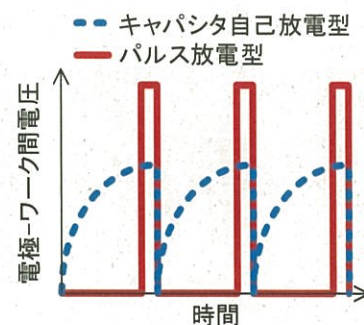


図 1. キャパシタ自己放電型とパルス放電型の電圧波形の比較

充電回路によりキャパシタに充電し、電極-ワーク間の絶縁破壊電圧に達したのちにアーク放電が形成され掘削することにより加工が進展する方式である。図1に示す通り、キャパシタ自己放電型は、放電前の充電中（電圧印加時）における電極-ワーク間の漏れ電流における損失が生じるのに対し、パルス放電型は電圧印加時間の短縮により高効率加工が期待できる。また、自己放電型よりも安定した放電を形成できるため、電極やワークの形状の変化においても安定した加工が実現可能であると推測する。

2. 研究成果

(1) パルス放電加工機の製作

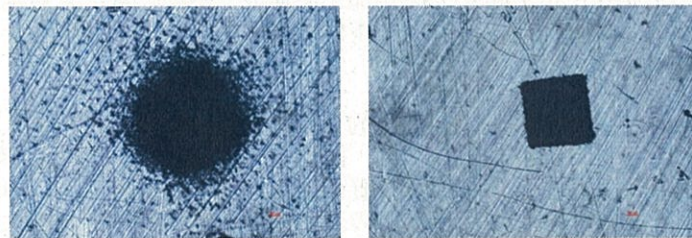
本研究にて開発するパルス放電加工機は、加工穴観察用デジタルマイクロスコープ、放電電極、加工槽、直流電源、Z軸スライダ、X-Y自動ステージ、加工機コントローラおよびパルス電源より構成される。その中でも放電加工機の主幹となるコントローラは、PICマイコンによる制御部、各ステージおよびスライダのドライブ回路、指示・制御ボタン、液晶ディスプレイ表示部などで構成される。放電加工は、放電電圧を計測し、放電電圧が設定した基準電圧よりも高いときは電極-ワーク間隔を近づけ、低いときは電極-ワーク間隔を遠ざけて、放電距離を制御しながら加工が進展していく。パルス放電による加工では、電圧印加時間が極端に短く、現有のコントローラでは印加電圧を参照することが困難なため、印加電圧を参照できるように専用のコントローラを製作した。

パルス電源は、半導体スイッチを使用したキャパシタバンク方式を採用した。回路定数を変更できるように、充放電キャパシタは取り換えが容易にできるように構築している。パルス繰り返し周波数は1.0 kppsと10 kppsで加工試験を実施した。

放電電極は、底面が0.5 mm × 0.5 mmの正方形の形状の銅タングステンを使用した。被加工物はアルミブロックを使用し、加工穴を観察した。

(2) 水中での放電加工

加工槽の中にイオン交換水を満たし、水中にて放電加工を実施した。両方式とも充電電圧は150 V、充放電キャパシタは0.02 μ F、加工時間は10分間の処理を行った。パルス繰り返し周波数は1.0 kppsで加工を行った。図2に従来の自己放電型と提案するパルス放電型で放電加工したデジタルマイク



(a) 自己放電型

(b) パルス放電型

図2. 水中放電加工マイクロスコープ画像

ロスコプの画像を示す。この画像より、加工穴の状況が確認できる。自己放電型の加工は放電が様々な箇所で発生し、電極の型枠通りの加工ができていないことが分かる。それに比べパルス放電型の加工は、加工の跡が電極の型枠通りに掘削が進んでいることが確認できる。パルス放電型は、放電加工できる加工液の選択性がより広がることから、提案装置の有効性が実証できた。

(3) 加工油中での放電加工

加工槽の中に加工油を満し、油中にて放電加工を実施した。両方式とも充電電圧は150 V、充放電キャパシタは0.02 μ F、加工時間は10分間の処理を行った。パルス繰り返し周波数は1.0 kppsで加工を行った。図3に従来の自己放電型 (a) と提案するパルス放電型 (b) で放電加工したデジタルマイクログスコープの画像を示す。この画像より、自己放電型の加工は、型枠通りに加工が進んでいるのが確認できるが、パルス放電型は自己放電型に比べ、加工スピードが遅くなっているように見える。この原因を調査すると、放電電流の大きさに起因していること



(a) 自己放電型

(b) パルス放電型

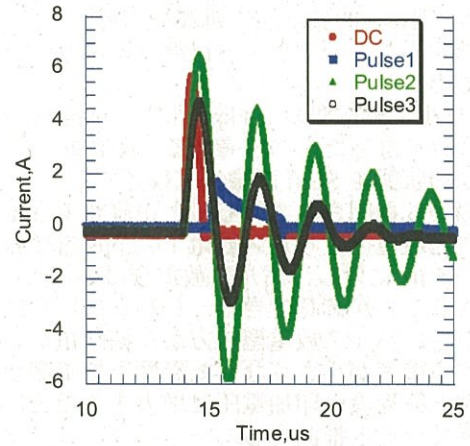
(c) 改良パルス放電型 1.0 kpps

図3. 油中放電加工マイクロスコープ画像

が分かった。

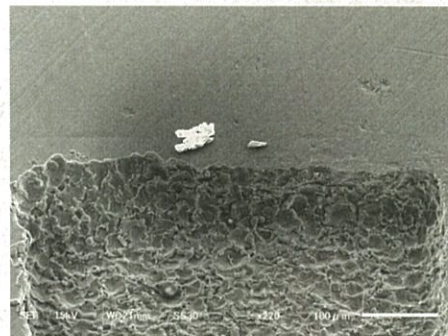
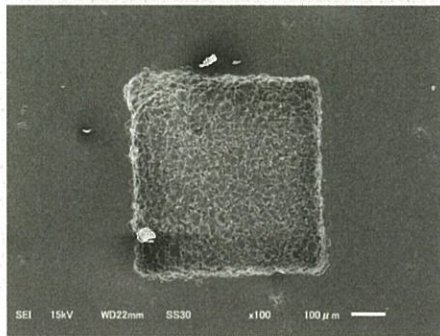
自己放電型の放電電流ピーク値が 5.8 A (図 4 の DC 波形参照) に対し、パルス放電型は 1.8 A (図 4 の Pulse1 波形参照) と低い値を示していた。パルス放電型の電流を上昇させるために、半導体スイッチの変更ならびに充放電キャパシタの容量を 0.03 μF に増大した。これにより、充電電圧 60 V で放電電流のピーク値が 6.6 A (図 4 の Pulse2 波形参照) まで出力することができた。この時のマイクロ스코プの画像を図 3 (c) に示すが、回路の改良により掘削が実現できていることが確認できる。また、パルス繰り返し周波数が 10 kpps でも放電加工を行った。この時のピーク放電電流は、4.8 A (図 4 の Pulse3 波形参照) となっていた。図 4 に各放電加工時の電流波形を示す。

また、従来の自己放電型では、充電電圧を 100 V 程度に低くすると、放電が起こらず加工ができない状態であったのに対して、パルス放電型ではさらに低い充電電圧 60 V においても放電が発生し、加工が可能であることが確認で

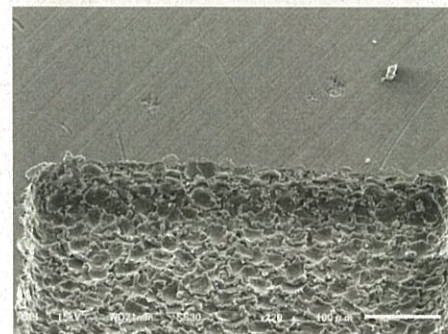
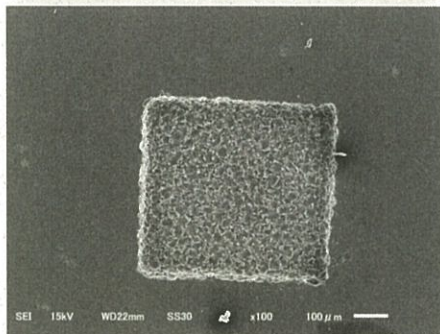


自己放電型：DC、パルス放電型：Pulse1、改良パルス放電型 1.0 kpps：Pulse2、改良パルス放電型 10 kpps：Pulse3

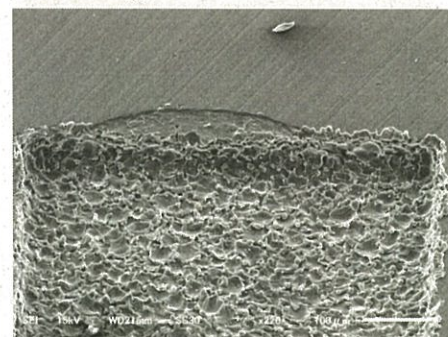
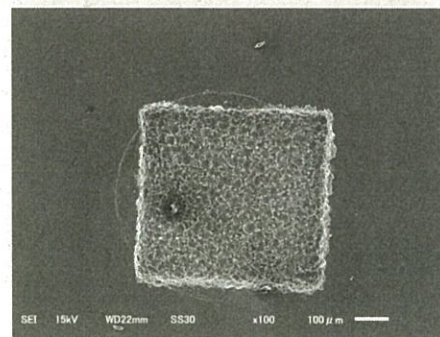
図 4. 各放電加工時の電流波形



(a) 自己放電型



(b) パルス放電型 1.0 kpps



(c) パルス放電型 10 kpps

図 5. 各条件での放電加工処理の SEM 画像

き、パルス放電型の優位性がさらに示された。

自己放電型 (150 V, 0.02 μ F), パルス放電 (60 V, 0.03 μ F) における 1.0 kpps と 10 kpps の条件で 10 分間放電加工処理を実施した際の SEM 画像を図 5 に示す。これにより、加工深さを算出することができ、自己放電型は 62 μ m, パルス放電型 1.0 kpps は 51 μ m, 10 kpps は 45 μ m を算出した。

パルス放電型の 1.0 kpps は、10 kpps より放電電流が大きいため、1.0 kpps の方がより加工量が大きくなったものとする。放電加工パラメータにおいて、放電電流の影響は大きい。また、掘削の状態を SEM 画像にて確認すると、放電電流の小さい 10 kpps の方において、掘削跡がきめ細かく掘削されていることが確認できる。

自己放電型とパルス放電 1.0 kpps を比較すると、放電当たりの最大エネルギーが自己放電型は 225 μ J に対し、パルス放電型は 84.6 μ J と約 0.38 倍小さいにもかかわらず、放電加工が進展できることが確認できた。しかしながら加工深さを比較すると、放電当たりの最大エネルギーが小さいパルス放電型の方が、掘削量が小さくなってしまった。また、印加電圧が低いため放電する確率が小さくなった影響も加工深さが浅くなった原因の一つと考える。よって、自己放電型と同程度の印加電圧に増大することにより、放電エネルギーも増大し、加工速度は極めて大きくなると推測する。

3. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 件)

〔学会発表〕 (計 件)

〔図書〕 (計 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年:

国内外の別:

○取得状況 (計 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

4. 研究組織

研究協力者

研究協力者氏名:

浪平 隆男 (熊本大学 産業ナノマテリアル研究所 准教授)

原田 康生 (熊本大学 大学院自然科学教育部 材料・応用科学専攻 博士前期課程)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。