

振動援用マイクロ放電加工における放電現象の直接観察

慶應義塾大学理工学部機械工学科 ○ 藤田健二郎 ◎ 閻 紀旺

要 旨

マイクロ放電加工では、工具電極への振動付加により加工特性の向上が確認されている。一方、振動によるギャップ内の放電現象の変化について直接観察は未だに実現されておらず、振動モードや条件の最適化に課題が残されている。本研究では、透明体電極とハイスピードカメラを使用することによりギャップ内の放電現象の直接観察を試みた。その結果、振動モードが放電分布や加工屑の滞留などに大きな影響を与えることを明らかにした。

1. 結論

近年、IT や MEMS 技術の発達に伴い微細な機械電子部品の需要が高まっている。微細部品の大量生産には高強度材料を用いた金型が必要であり、その製作にはマイクロ放電加工が多く用いられている。マイクロ放電加工では、工具電極と工作物の間に発生させた放電の熱エネルギーにより工作物を溶解、蒸発させ加工していく。ミクロンレベルの微小範囲での非接触加工であるため、高強度材料であっても微細な複雑形状に加工することが可能となる。

しかし、マイクロ放電加工では工具電極と工作物の間の放電ギャップ内での加工屑滞留が問題となっている。これにより、同一箇所に密集して発生する集中放電や、工具電極と工作物が加工屑により導通してしまう短絡現象が発生する。その結果、放電現象が不安定になり、電極消耗の増大や加工面性状の悪化、加工効率の低下などが引き起こされる。

この問題の解決策として、工具電極に加振を施した放電加工が提案され、振動援用の効果が確認されている⁽¹⁾。これは振動がギャップ内の加工液の流れを促進することにより加工屑を除去しやすくし、集中放電や短絡を減少させる結果であると一般的に解釈されている。しかし、振動援用放電加工におけるギャップ内の放電現象の直接観察はこれまでに実現されていない。もし加振による放電数の変化やその分布の変化等を解明することができれば、振動モードや加工条件の最適化による更なる加工特性の向上が期待できるのではないかと考えられる。

そこで本研究では、透明体電極⁽²⁾とハイスピードカメラを用いることにより振動援用放電加工時のギャップ内の放電現象の直接観察を行った。そして、振幅を変化させてギャップ内挙動を比較することで、振幅が放電挙動に及ぼす影響について検証した。

2. 実験装置および方法

本研究の実験装置にはパナソニック(株)製の微細放電加工機 MG-ED72 を用いた。加工液には日興キャスティ(株)製の加工油 (Casty-Lube ® EDS) を用いた。陰極である工具電極には $\phi 1$ mm の銅、陽極である工作物には透明体である単結晶 4H-SiC (4 × 4 mm, 厚さ 350 μ m) を使用した。工具電極に振動を付加するため、NEC トーキン(株)製の積層圧電素子 (AE0505D08F) を用いた。図 1 のようにハイスピードカメラ、透明体電極、工具電

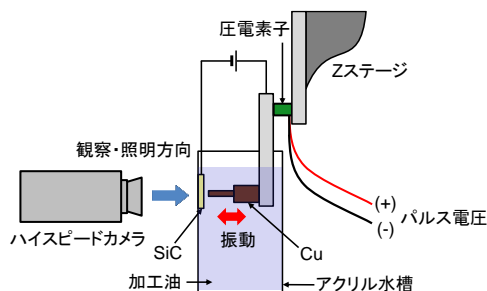


図 1 透明体 4H-SiC を用いた直接観察法の模式図

極を一直線上に配置し、透明体越しに放電ギャップの観察を行った。実験条件を表 1 に示す。振動なしと振幅 1, 2, 3 μ m の 4 つの条件下で撮影を行った。撮影は(株)キーエンス製のハイスピードカメラ VW9000 を使用し、フレームレート 1000 fps, 解像度 640 × 480 pixel とした。

3. 結果および考察

3.1 振動有無における総放電数の変化

振動を付加することによる放電数の変化を、撮影された画像 50 コマから求めたものを図 2 に示す。振幅が大きくなるにつれて放電数が増加することが分かった。一般に放電加工では、加工屑が効率的に排出されると集中放電や短絡が減少するため、加工に寄与する放電数は多くなる。本研究では、加振によりギャップ間の加工液流れを促し、加工屑を除去しやすくなり、放電数が増えたと考えられる。さらに、振幅の増加に伴い、生成される流れが強くなるため、放電数が増加したと推測できる。

一方、図 2 において振幅 1 μ m のとき放電数が振動なしと比べ減少している。これは、加振によるギャップの凌駕に加え、振幅が小さくギャップ内の加工液の流れを十分に発生できなかったためと思われる。振幅を 2, 3 μ m へと増加させると、放電数が振動なしより大きく増加した。ギャップ内に加工液の流れを十分に供給し、加工屑を効率的に排出した結果であると考えられる。このように、振動援用放電加工において放電数を増加させるには、1 μ m より大きな振幅が必要であることが言える。

また、時間変化に伴う放電数の推移を図 3 に示す。振動なしでは放電がランダムに発生するが、加振時は振幅により放電ギャップを凌駕するため、放電が周期的に発生するようになった。

放電が発生しなくなる電極間距離を計測するため 50 Hz - 3 μ m において振幅最下点からの距離と放電数の関係を図 4 に示す。

表 1 加工条件

電圧	110 V
静電容量	3300 pF
送り速度	0.5 μ m/s
周波数	500 Hz
振幅	1, 2, 3 μ m

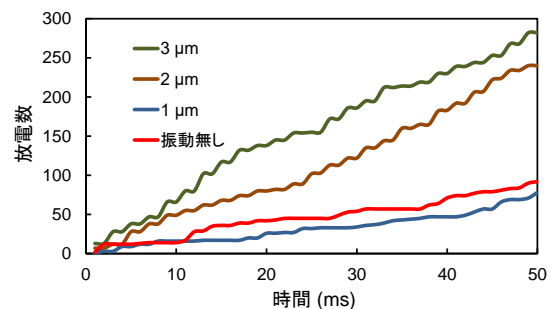


図 2 各振幅における総放電数

放電が発生可能なのは振幅最下点から上方に $2\mu\text{m}$ 弱までであることが確認された。また、電極間距離が狭くなるにつれ放電数の増加も確認された。以上のことから、加振時は微小時間内で周期的な放電の発生と停止を繰り返しながら加工が進んでいくことが確認された。

3.2 振動有無による放電分布の変化

撮影された画像 50 コマから求めた放電分布を図 5 に示す。この時、 $\phi 1\text{ mm}$ の工具電極が中心となるように、1マス $50\mu\text{m}$ 角で 21×21 のメッシュに分割し、分布を求めた。さらに、各条件下での総放電数が異なるため、1つのメッシュでの放電数を総放電数で割ることで一般化を行った。図 5 より、振動がない時に比べて加振時のほうが、放電が工具電極全体に分散しているのが分かる。先行研究により放電が発生しやすい箇所は、直前の放電により飛散した加工屑の周りであることが分かっている⁽²⁾。そのため、図 6 のように、振動なしの場合では加工屑がとどまることで、直前の放電箇所の付近に次の放電が起こり、分散が小さくなったと考えられる。一方、加振時は振動がギャップ内に流れを与え、さらに放電を発生させない時間を作り出したことにより

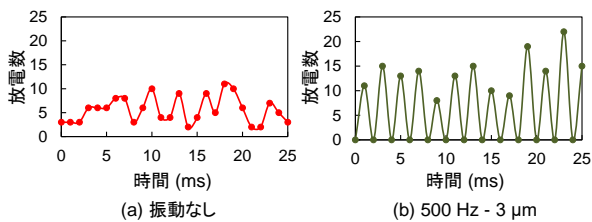


図 3 時間変化に伴う放電数

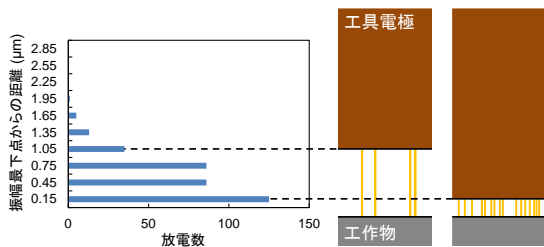


図 4 放電が発生する振幅最下点からの距離

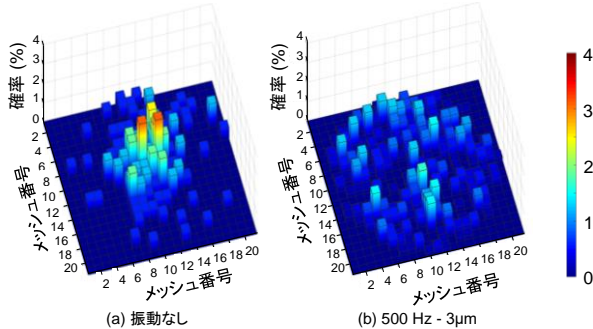


図 5 放電発生分布

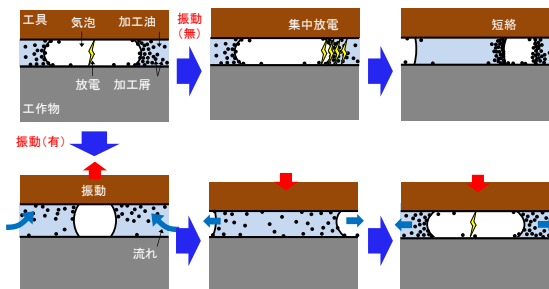


図 6 振動付加による加工屑除去

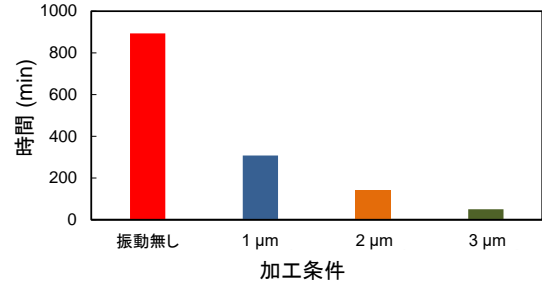


図 7 200 μm 形彫り放電加工に要する加工時間

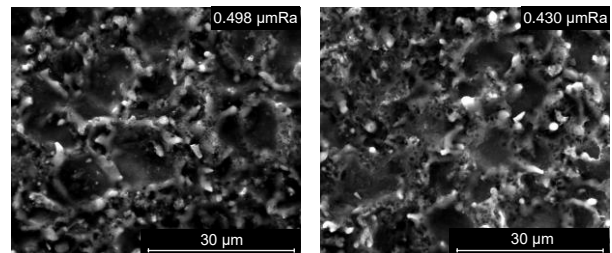


図 8 加工表面の SEM 画像

加工屑をギャップ内で分散させた。その結果、振動なしの場合に比べて放電分布がより均一になったと考えられる。

3.3 振動付加による加工特性の改善

振動による加工特性の変化を加工速度と表面粗さから評価した。まず、深さ $200\mu\text{m}$ の形彫り加工における加工速度の変化を図 7 に示す。加振により加工速度の向上がみられ、振幅の増大により加工速度が増加した。振幅 $3\mu\text{m}$ の時は振動なしに比べ $1/18$ の時間で加工を完了させた。振動なしの場合は短絡解消のために送りが多く戻され、加工の復帰に数十秒程度を要するため、加工速度が低下したと考えられる。一方、振動を付加した場合は加工屑が効率的に除去され、放電数の増加、放電分布の分散によって加工速度が向上したと考えられる。さらに、振動が工具電極に付着した加工屑を除去し、短絡頻度を減少させ、短絡解消の速度も向上したと考えられる。このような効果は振幅の増加に伴い強くなっていくと考えられる。

図 8 に、加工表面の SEM 画像を示す。レーザプロブを用いて表面粗さを測定したところ、加振によって表面粗さも僅かに改善されている。これは、加振時は放電分布が均一になり集中放電の発生頻度が減少した結果であると考えられる。

4. 結論

透明体電極として単結晶 4H-SiC を用いて振動援用放電加工を行い、ハイスピードカメラによる放電ギャップを観察した。以下の結論を得た。

- (1) 振動の振幅が増大するほど放電数も増加する。
- (2) 加振時は振幅最下点以外でも放電が発生する。
- (3) 加振時は放電が分散し、加工の安定化に繋がる。
- (4) 加振により、加工速度が最大で振幅 $3\mu\text{m}$ の時に 18 倍向上した。表面粗さも僅かに改善が見られた。

以上の結果より、マイクロ放電加工特性における振動振幅の影響を明らかにした。

参考文献

- (1) T. Endo, T. Tsujimoto and K. Mitsui, "Study of vibration-assisted micro-EDM—The effect of vibration on machining time and stability of discharge," *Precision Engineering*, Vol.32, pp.269-277, 2008.
- (2) T. Kitamura, M. Kunieda and K. Abe, "Observation of relationship between bubbles and discharge locations in EDM using transparent electrodes," *Precision Engineering*, Vol.40, pp.26-32, 2015.