

微細放電加工の極間における加工液流れと加工屑挙動の解析

Analysis of working fluid flow and debris behavior in micro-EDM gap area

東京農工大学 ○町田 昌史, 夏 恒

Tokyo University of Agriculture and Technology Masashi Machida, Wataru Natsu

Abstract: Debris, micro particles produced by discharges, stay in the gap area during deep hole machining by micro EDM, cause short-circuits and abnormal discharges, finally make machining impossible. Although a deep hole can be processed by using the tool with grooves on the surface, the effect of the tool shape on the flow of working fluid and the behavior of debris are not clear yet. In this research, the FEM model of working fluid in gap area was modeled and the flow of working fluid and the behavior of debris were analyzed.

1. 緒言

微細放電加工とは、絶縁性の加工液中において、微小な距離を隔てた工具電極と工作物の間に電圧を印加させることで、アーク放電を発生させ、工作物を溶融・蒸発させて除去する熱的加工である。微細放電加工による深穴加工では、加工が進行するに従い、極間に加工屑が滞留する。加工屑は主として放電によって除去された工作物材料の微粒子であり、短絡や異常放電により加工の進行を妨げ、深穴加工を阻害している¹⁾。この問題の解決方法として、ジャンプフラッシングや工具電極形状を工夫する手法が報告されている²⁾³⁾。工具電極に溝を付ける手法では、加工屑を含んだ加工液が溝を通り加工穴上部方向に運搬され、加工屑の排出が効率的に行えると考えられている。しかし、微細放電加工において、工具形状の違いによる加工液の流れや加工屑の挙動に与える影響は明らかにされていない。また、加工屑を効率的に排出し、より深い穴加工を実現するためには、工具・工作物間の極間を満たす加工液の流れを把握することが有効であると考えられる。そこで本研究では、微細放電加工の穴加工における工具・工作物間に存在する加工液を COMSOL でモデル化し、極間における加工液の流れと加工屑の挙動を解析した。

2. COMSOL を用いた加工液流れの解析

本研究で解析対象とする放電加工の概要を図 1 に示す。工具と工作物の間には加工液が存在する。工作物に対し工具を回転させながら軸方向に送ることで、工作物に穴加工を行うことが可能である。加工中に除去された工作物は加工屑として加工液中に放出される。加工液は工具と工作物の冷却や加工屑を排出する役割を担う。図 1 で示した微細放電加工を解析対象として、工具電極を回転させた場合の加工液の流れを解析した。モデルの作成と計算には、COMSOL Ver4.3b を用いた。工具の回転による加工液の流

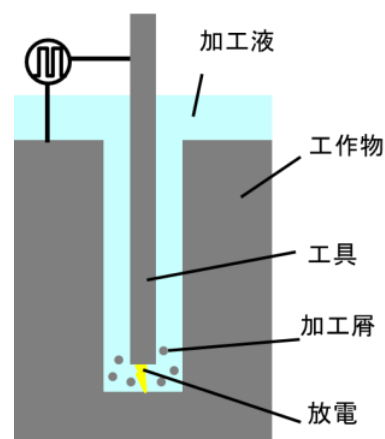


図 1 微細放電加工

れを解析するため、COMSOL の CFD モジュール内にある「回転機器」機能を用い、3次元モデルを作成した。3次元モデルの全体図を図2に示す。また、解析モデルの寸法と概要を図3に示す。加工穴底面を原点として工具軸方向をZ軸とし、加工穴底面側を-Z方向、加工穴上面方向を+Z方向と定義する。また、工具の回転軸に垂直な平面をXY平面とし、工具回転中心をX軸とY軸の原点と定義する。加工液は脱イオン水とし、非圧縮性流体であると仮定する。モデル上部の加工液面には大気圧がかかっていると仮定し、ゲージ圧0 Paを設定した。工作物と加工液の境界では、境界上での速度が0となる「すべりなし壁」を設定した。工具直径は90 μm 、加工穴直径は100 μm 、工具-工作物間の側面ギャップは5 μm とした。底面ギャップは加工層濃度が濃いと考えるため、側面ギャップの2倍である10 μm とした。工具の回転速度は2000 rpmとした。本解析では工具の回転による極間の加工液の流れのみを見るため、加工層の存在は考慮しない。また、工具の軸方向への送りは考慮せず、加工穴の深さが300 μm となった時点での加工液の流れを解析対象とした。

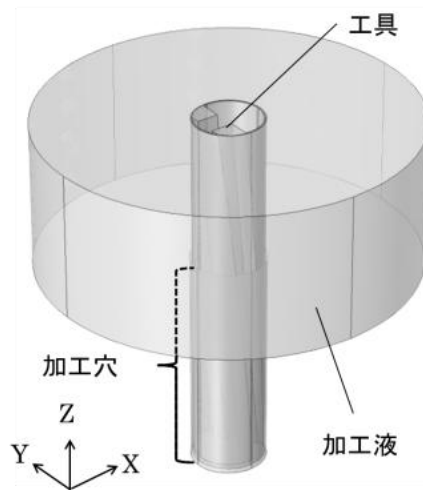


図2 モデル全体図

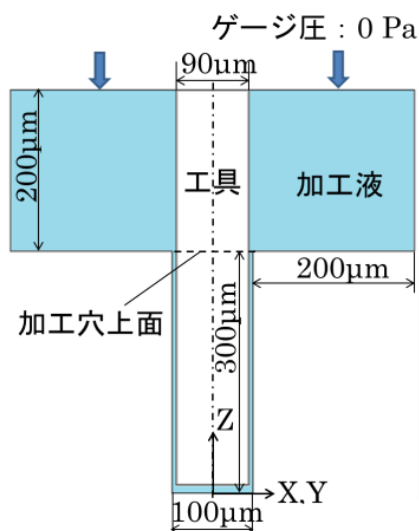


図3 モデル概要

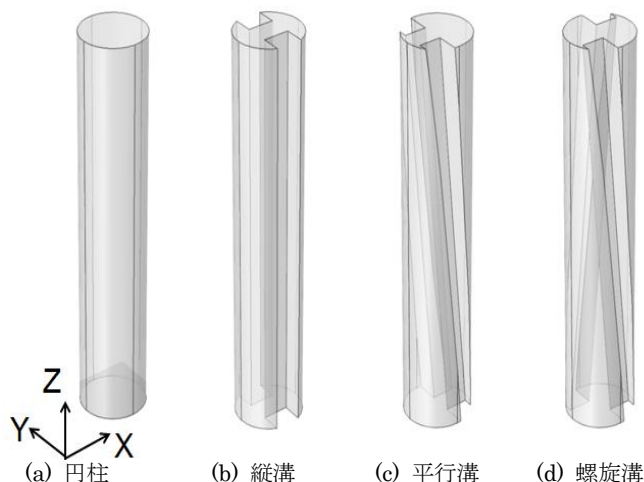


図4 工具形状

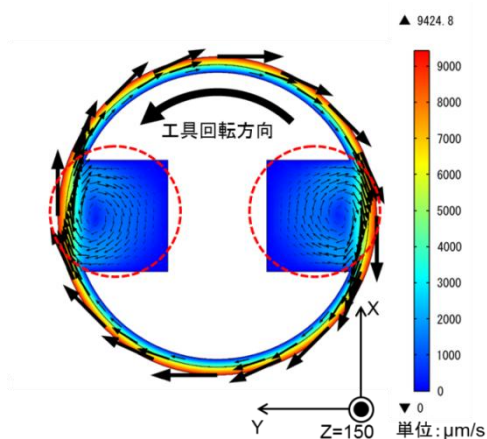


図5 加工液の流速分布

(縦溝付工具, 工具に対する相対速度)

工具電極を図 4 に示した 4 種類用意し、各工具が極間の加工液の流れに与える影響を解析した。図 4(a)は工具側面に溝をつけない円柱工具、図 4(b)は円柱工具の側面に幅 35 μm 、深さ 30 μm の溝を軸方向と平行に 2 本つけた縦溝付工具、図 4(c)は円柱工具の側面に図 4(b)と同様の溝を 5°傾け、それぞれ軸回転方向について逆向きに 2 本つけた平行溝付工具、図 4(d)は図 4(c)の片方の溝を逆向きにし、軸回転方向について同じ向きに 2 本つけた螺旋溝付工具である。

各工具を回転させた場合の、加工液流れの解析を行った結果を示す。図 5 に縦溝付工具使用時の XY 断面の流速分布を示す。速度は工具に対する加工液の相対速度である。工具側面に溝を付けることで溝内に渦が発生することがわかった。この渦は平行溝付工具や螺旋溝付工具を使用した場合でも見られた。また、加工液の軸方向 (Z 方向) の速度場を図 6 に示す。図 6 から、溝を斜めにつけることで加工液の軸方向の速度が大きくなることがわかる。平行溝付工具では -Y 方向にある溝では軸方向上向き速度が、+Y 側にある溝では軸方向下向き速度が発生している。一方、螺旋溝付工具では各溝内で軸方向上向き速度と下向き速度が発生している。以上より、工具側面に斜めに溝を付けることで加工液に軸方向速度を与えられることがわかった。

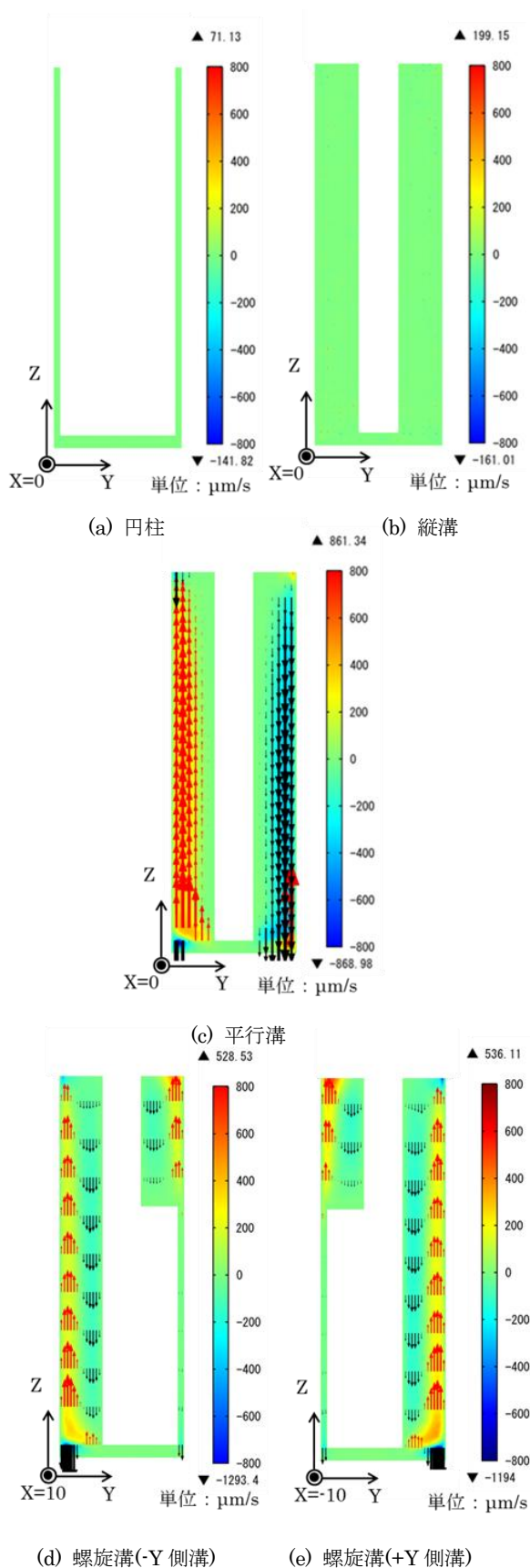


図 6 加工液の軸方向速度分布

3. 加工穴上面での流量

加工穴上面 (図 1 の破線部) における流量を、各溝内部・溝以外の 3 つの部分で分けて計算し、各部分の加工液の流れにおける役割を確認した。各部の流量は、COMSOL の計算機能を使い、パラメトリックサーフェスで指定した各部の領域について、その領域に存在する軸方向速度を面積分することで計算した。図 7 に各工具使用時の

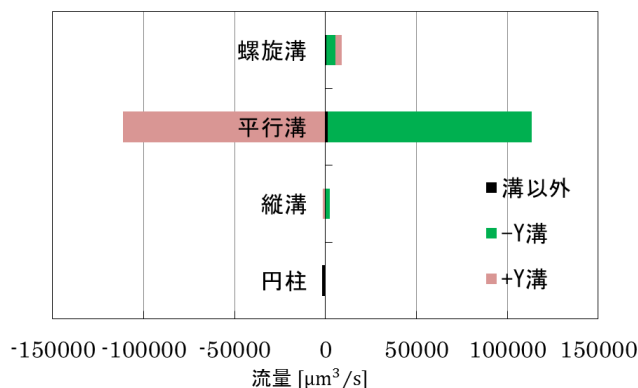


図 7 加工穴上面での流量

流量の計算結果を示す。図中の-Y 溝は-Y 側に存在する溝、+Y 溝は+Y 側に存在する溝である。円柱工具、縦溝付工具、螺旋溝付工具に比べ、平行溝付工具では各溝での流量が大きくなっている。平行溝付工具では一方の溝で加工穴への流入が発生し、他方の溝で加工穴からの流出が発生していることがわかる。このことから、平行溝付工具を使用した場合には溝から溝への加工液の流れが生じていると考えられ、底面ギャップに滞留した加工屑の効率的な排出できる可能性がある。

4. 加工屑の挙動解析

3 節では、平行溝付工具を使用した場合に、加工液は溝から溝へ流れ、底面ギャップから加工屑の排出が可能であると考察した。そこで、解析モデルの加工液内に加工屑を配置し、加工屑の挙動を解析した。平行溝付工具の+Y 側の溝に加工屑を模擬した粒子を 1 つ配置し、加工屑の挙動を解析した。加工屑は工作物であるステンレスと仮定し、加工屑の直径は 0.5 μm とした。

加工屑をモデル化するため、CFD モジュールに加えて粒子トレーシングモジュールを用いた。粒子は重力と浮力に加え、ストークス則に基づいた力を加工液から受ける。

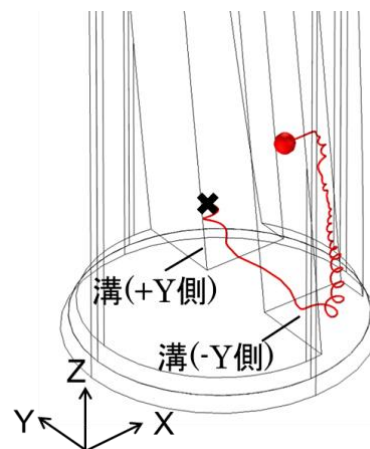


図 8 加工屑の挙動

図 8 に加工屑の軌跡を示す。なお、工具内での加工屑の挙動を見るため、加工屑の軌跡は工具との相対位置の軌跡である。図 8 において、黒のバツ印が加工屑の初期位置である。加工屑は+Y 側の溝から底面ギャップに入った後、-Y 側の溝へ入り上昇した。これより、平行溝付工具を使用した場合では、加工中に発生した加工屑は-Y 側の溝を通り、底面ギャップから排出されることがわかった。

5. 結言

COMSOL の CFD モジュールと粒子トレーシングモジュールを用いることで、微細放電加工における工具・工作物間の加工液流れと加工屑の挙動を解析した結果、以下の結論を得た。

- (1) 工具側面に溝を付けることで、溝内部で渦が発生する。
- (2) 斜め溝を回転方向について異なる方向に 2 つ工具側面につけた場合、一方の溝では加工穴上面から底面ギャップへ向かう流れが発生し、もう一方の溝では底面ギャップから加工穴上面へ向かう流れが発生する。
- (3) 斜め溝を回転方向について異なる方向に 2 つ工具側面につけた場合、加工液は溝から溝へ底面ギャップを経由して流れ、加工屑を底面ギャップから排出することが可能になる。

参考文献

- 1) 増沢 隆久:セルフフラッシング法による放電加工, 生産研究 , 36 巻 2 号, No.6, (1984), pp.9-14.
- 2) 許 東亞, 増沢 隆久, 藤野正俊: 放電による微細深穴加工の研究 (ジャンプフラッシング機能の応用), 電気加工学会誌, Vol.35, No.79, (2001), pp.32-pp.37.
- 3) 宮本 卓武, 市川 智彦, 夏 恒: 微細放電加工による穴加工の深さ限界に及ぼす電極形状の影響, 2013 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, (2013), pp.519-520.