

補助事業番号： 2022M-252

補助事業名： 2022年度 表面改質放電加工法による高アスペクト比穴内面への
高機能化による先進的噴射ノズルの開発 補助事業

補助事業者名： 新潟大学教育学部 金属加工研究室

1 研究の概要

これまで、電極工具の移行堆積には、各種材料の組み合わせ(電極材-母材)および極性に依存してしまう問題があった。そこで、波形の極性高速反転により、材料および極性に依存しない表面改質放電加工法を検討した。放電の発生するタイミング、消滅するタイミング、放電パルス波形(図1:重畳、極性高速反転、ノイズ)などを任意に制御し、加工および表面改質を意図的に変更する。また、放電加工において、放電発生箇所や発生タイミングなどを制御することができれば、放電エネルギーを効率よく材料除去エネルギーに変換することが可能になり、加工速度の向上が期待できる。最終的には、高アスペクト比穴加工とその穴内面の高機能化の両立を実現することを目的としている。

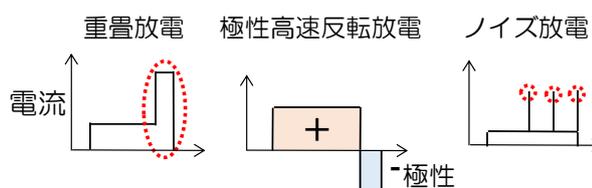


図1 放電波形制御

2 研究の目的と背景

放電加工は、熱加工であるため、被加工物の硬度に依存することなく加工できる特徴がある。そのため、高硬度の金型材などの加工に広く用いられている。しかし、仮に低エネルギーの条件を用いたとしても、表面には熱影響層や溶け残り部(白層・ドロス)が残留しており問題となっている。

一方、同じ熱加工であるレーザー加工は、超短パルスを用いることでアブレーション加工を実現し、クラックレスの微細加工が可能となっている。レーザー加工は、集光性に優れており、光学系の制御により高密度パワーを材料表面に照射することができる。また、パワー密度の制御によって加工時の温度上昇過程を制御している。

放電加工においても、放電発生箇所や発生タイミングなどを制御することができれば、放電エネルギーを効率よく材料除去エネルギーに変換することが可能となり、加工速度の向上などが期待できる。このような背景から、材料除去メカニズムの解明などに関する研究内容が多く報告されている。しかし、いまだ詳細なメカニズム解明にまで至っているとは言い難い。

本研究では、任意の極小パルスを高速かつ連続で極性反転させるなど、放電波形を任意形状に制御することで、高精細加工と高機能性付与の両立を試みる。特に、放電パルス発生のタイミング(重畳、ノイズ付与)や極性高速反転パルスを検討し、高い耐久性が要求される、燃料噴射ノズル、化繊ノズルなどの高アスペクト比微細穴加工、その穴内面の高機能性付与へ展開し先進的噴射ノズルの開発を目的とする。

3 研究内容

(1) 放電現象の観察システムの構築/放電波形との同期システムの構築

(http://www.ed.niigata-u.ac.jp/~hirao/overview/2022_JKA_report.pdf)

本研究で開発した実験装置の概略を図2に示す。加工形態は、気中において丸棒電極対平面とした。放電アーク柱と材料除去とを同時に観察するため、ハイスピードマイクروسコープ (KEYENCE, VW-600C) を2台準備した。放電とハイスピードマイクروسコープ2台を同期させることで、放電アーク柱と材料除去の同時観察を可能とする。放電アーク柱の観察には、レンズ (KEYENCE, VH-Z20) の倍率を20倍とした。材料除去の観察には、レンズ (KEYENCE, VH-Z50) の倍率を50倍とした。また、放電アーク光を取り除くため、バンドパスフィルタを介した光学系を構築した。本実験では、光源に波長532 nmのグリーンレーザを用い、半値幅 1.0 ± 0.2 nmのバンドパスフィルタを用いた。

図2には、放電回路および同期信号の概略を示している。FPGAから出力される信号1は、2台のハイスピードマイクروسコープのトリガ信号としても用いられている。重畳パルスおよびノイズパルス信号は、異なるタイミングでFPGAから信号を発生し、回路内で信号を合成している。

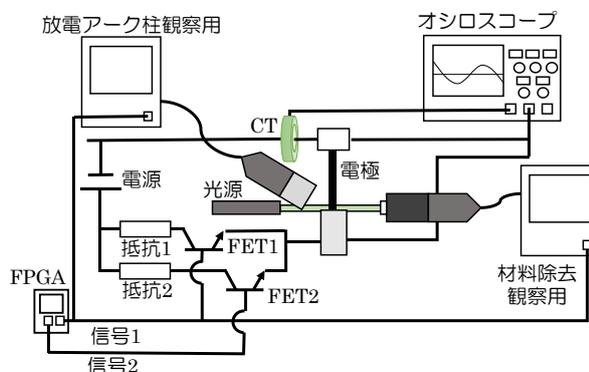


図2 放電現象の観察システムおよび放電波形同期システム

(2) 放電波形制御した加工観察(重畳パルス)

亜鉛に対して段付き重畳パルス放電を実施した。図3に段付き重畳パルス波形 (放電電圧・放電電流) を示す。信号1はパルス幅 $200 \mu\text{s}$ である。信号1が出力された $160 \mu\text{s}$ 後に信号2を出力した。信号2はパルス幅 $40 \mu\text{s}$ である。図4に放電アーク柱および材料除去の同期観察した結果を示す。図4には、放電が発生した経過時間を示している。 $160 \mu\text{s}$ 後、大きな材料除去が観察された。放電電流の重畳により材料除去を誘発できる可能性があることが分かった。

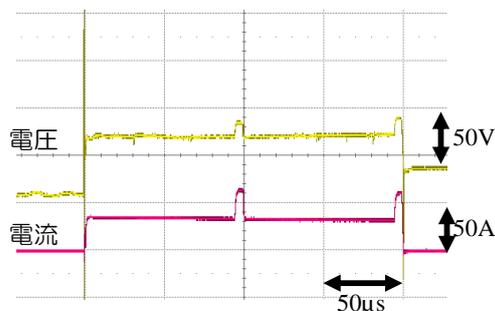


図3 重畳パルス放電

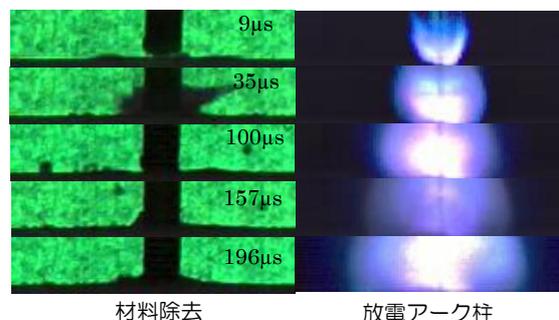


図4 亜鉛に対する単発放電の観察

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

放電加工法は、金型製作に広く用いられている。しかし、放電加工によって得られた金型は、最終仕上げに手磨きなどが必要となる。手磨きには時間と労力を要するため、放電加工による熱影響層・白層のない仕上げ加工が求められている。本研究は、放電加工用の電極から発生する放電パルス波形（放電エネルギー）を制御することで、高精細仕上げレス加工を実現する。機械的特性に優れた材料表面の仕上げレス加工は、金型、治具などの大量生産を支える分野への適用にとどまっていた放電加工が他の分野においても優位性を発揮できる可能性がある。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本研究は、高速度ビデオカメラを用い、放電パルス波形と放電現象との関係をリアルタイムで観察し、溶融した材料が、どのタイミングで吹き飛ばされるかを詳細に調査することで、材料除去メカニズムについて考察した。高速度ビデオカメラの進歩によって、放電プラズマが膨張する様子などの時間的な解明は進んでいる。しかしながら、加工屑除去メカニズムの解明までには至っていない。本研究で提案する高速反転パルス波形（重畳、ノイズ）を用いた放電アブレーション加工は、発生しているアーク放電を一気に消弧させ、溶融池を高速反転パルスによって除去する方法である。将来的に、本手法を用いた高アスペクト比微細穴加工および穴内面の高機能性付与へ展開し先進的噴射ノズルの開発を試みる。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

学術論文

- [1] Yoshiki Tsujita, Takayuki Tani, Hiromitsu Gotoh, Atsutoshi HIRAO, Naotake Mohri : Observation of Material Removal by a Single Electrical Discharge : Consideration of Material Properties and Carbon Layer Forming Process, International Journal of Electrical Machining , No.28 , (2023)1-6.

講演論文

- [1] 長沼駿介, 平尾篤利:単発放電加工における各種材料が加工屑飛散タイミングにおよぼす影響, 日本産業技術教育学会 第33回北陸支部大会学術講演会, (2022) 15.
- [2] 小林慎一, 平尾篤利:工具電極形状が高アスペクト比深穴放電加工へおよぼす効果, 日本産業技術教育学会 第33回北陸支部大会学術講演会, (2022) 13.
- [3] 辻田容希, 谷貴幸, 後藤啓光, 平尾篤利, 毛利尚武:円運動細線電極による放電表面改質の試み, 2022年度電気加工学会全国大会全国大会講演論文集, (2022)15-16.
- [4] 平尾篤利, 長沼駿介, 辻田容希, 後藤啓光, 谷貴幸:単発放電加工における加工屑の飛散回数と除去体積の関係, 2022年度電気加工学会全国大会全国大会講演論文集, (2022)25-26.
- [5] 平尾篤利, 辻田容希, 後藤啓光, 谷貴幸:放電加工における工具形状が加工深さにおよぼす影響, 第14回生産加工・工作機械部門講演会, (2022)C10

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

超音波振動を援用した高アスペクト比マイクロ加工に関する研究の補助事業報告書

(http://www.ed.niigata-u.ac.jp/~hirao/overview/2022_JKA_report.pdf)

目次

第1章 序論.....	1	3.3 実験結果:各種材料と放電痕体積.....	53
1.1 放電加工法.....	1	3.3.1 亜鉛.....	53
1.1.1 放電加工法について.....	1	3.3.2 純鉄.....	55
1.1.2 放電加工の原理.....	2	3.3.3 銅.....	57
1.2 本研究の目的.....	3	3.3.4 チタン.....	58
1.2.1 本研究の背景および従来研究との関連性.....	3	3.4 実験結果:飛散回数と放電痕体積.....	60
1.2.2 本研究の目的.....	5	3.5 実験結果:放電痕体積と熱伝導率.....	61
1.3 本論文の構成.....	5	3.6 第3章結言.....	63
第2章 放電加工現象の直接観察と飛散タイミングの計測.....	6	第4章 両極性パルスが加工に及ぼす影響.....	64
2.1 緒言.....	6	4.1 諸言.....	64
2.2 実験条件.....	7	4.2 実験条件.....	64
2.2.1 実験装置概要.....	7	4.2.1 実験装置概要.....	64
2.2.2 単パルス波形入力.....	8	4.2.2 両極性パルス入力.....	65
2.2.3 観察系.....	12	4.2.2 放電条件・加工条件.....	68
2.2.4 放電加工機.....	19	4.3 実験結果.....	69
2.2.5 放電条件・加工条件.....	23	4.4 第4章結言.....	72
2.3 実験結果.....	24	第5章 結論.....	73
2.3.1 亜鉛の加工屑飛散.....	26	5.1 本研究のまとめ.....	73
2.3.2 純鉄の加工屑飛散.....	32	5.2 今後の展開.....	74
2.3.3 銅の加工屑飛散.....	37	参考文献.....	76
2.3.4 チタンの加工屑飛散.....	43		
2.4 第2章結言.....	49		
第3章 各種材料における放電痕体積と熱伝導率.....	50		
3.1 緒言.....	50		
3.2 実験条件.....	52		
3.2.1 材料特性.....	52		
3.2.2 放電条件.....	53		
3.2.3 放電痕体積計測.....	53		

表面改質放電加工法による高アスペクト比穴内面への高機能化による先進的噴射ノズルの開発

i

表面改質放電加工法による高アスペクト比穴内面への高機能化による先進的噴射ノズルの開発

ii

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 新潟大学教育学部 (ニイガタダイガクキョウイクガクブ)

住所: 〒950-2181

新潟県新潟市西区五十嵐2の町8050

担当者: 准教授 (ジュンキョウジュ)

担当部署: 平尾篤利 (ヒラオアツシ)

E-mail: hirao@ed.niigata-u.ac.jp

URL: <http://www.ed.niigata-u.ac.jp/~hirao/>