

補助事業番号 2024M-408

補助事業名 2024年度 デュアル駆動放電加工機の開発による高精細仕上げレス加工と
省エネルギー化に関する 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

本研究では、放電加工法による仕上げレスとエネルギー消費を抑制した加工の両立を実現するため、 piezo素子駆動（微動）とステッピングモータ駆動（粗動）を制御したデュアル駆動放電加工機を開発した。一発の放電パルス幅は数十～数百 μs と非常に短い。主軸に高応答の piezoステージを備えることで、異常放電一発ごと瞬時に対応可能なシステム（高応答駆動）を構築した。高応答駆動による加工効率と有効放電数の関係を調査し、エネルギー削減の有効性を確認した。加えて、加工に寄与しない軸形状を検討し、極間の加工液流れをシミュレーション解析することで、最適な軸形状を検討した。

2 研究の目的と背景

近年、エネルギー効率など製品の機能性の向上が求められており、益々、製品の小型化・高性能化が進んでいる。このため、高アスペクト比の微小径深穴加工や形状加工や高精細の仕上げ加工が必要となり、従来の加工法での対応が困難となっている。そこで本研究では、極間（電極-被加工物間）の安定化を狙い、高応答で軸制御可能なデュアル駆動放電加工機を開発し、高硬度金型材料に対する高精細の仕上げレス加工を目的とする。また、電極表面の金型形状を維持した状態で、加工に寄与しない箇所に対して形状を付与し、ハイスピードマイクロスコープを用いた極間観察とシミュレーション解析結果とを比較・検証することで、大型金型製造用の最適電極形状を考案する。

3 研究内容

(1) 軸駆動と放電パルスとの同期システムの構築

http://www.ed.niigata-u.ac.jp/~hirao/overview/2024_JKA_report.pdf

本研究で開発した実験装置の概略を図1に示す。加工機は、①循環システム、②変位計測システム、③3軸駆動システム、④放電回路・制御システムから構成されている。①循環システムは、放電加工液を循環している。放電加工によって発生した加工屑を除去している。②変位計測システムは、レーザー変位計（分解能 $0.01 \mu\text{m}$ ）によって電極の主軸変位を測定している。③3軸駆動システムでは、被加工物をX-Y軸方向、電極をZ軸方向で制御している。図2に放電回路および制御回路を示す。④放電回路・制御システムでは、全ての機器を制御し、軸駆動と放電パルスとの同期を行っている。

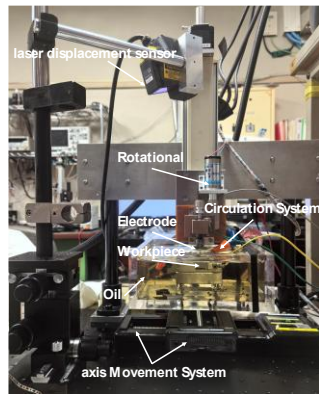


図1 デュアル駆動放電加工機

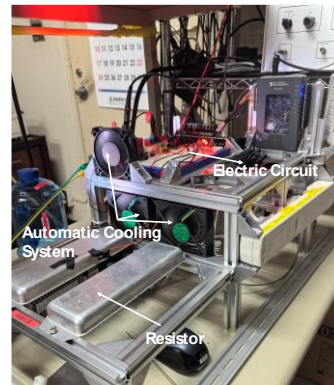


図2 放電回路および制御回路

(2) ピエゾステージの特性評価

ピエゾステージの特性評価として、主軸変位の測定を行った。主軸変位の計測には、渦電流変位センサを用いた。ピエゾステージは、ファンクションジェネレータ（以後：F.G.）より出力されたサイン波をドライバ電源に入力し、これを増幅した電圧を印加することで駆動する。図3にドライバ電源の出力電圧とピエゾステージの主軸変位との関係を示す。主軸変位は、ドライバ電源の電圧に比例して増加しており、ピエゾステージの線形な動作が確認された。図4にピエゾステージの主軸変位の周波数応答を示す。100 Hz～1 kHzの範囲においては、F.G.の出力周波数に対して良好に反応している。

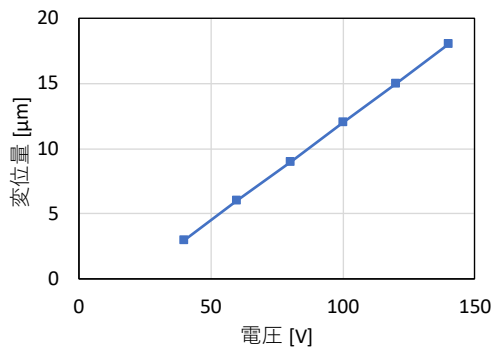


図3 入力電圧と変位の関係

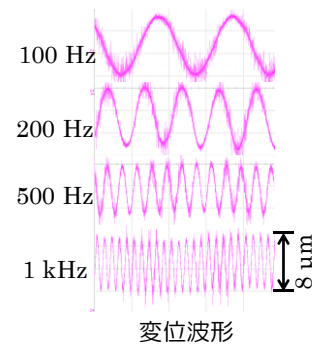


図4 主軸変位の応答

(3) 加工効率と有効放電数の関係とエネルギー削減効果

ここでは、振動工具の使用の有無による放電極間の現象を直接観察した。その結果、超音波振動によって、極間に介在する気泡および加工屑の除去効率が向上されていることが確認された。さらに、気泡および加工屑の除去経路に沿って複数の振動ノードが形成されていることが観察され、振動工具の使用によって流れ場の特性が変化し、気泡の除去効率が大幅に向上していることが明らかとなった。

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。一般的な放電加工法を用いた金型製造は、極間の気泡および加工屑の影響から電極消耗が大きくなり、複数本の同一形状電極を用いる必要がある。デュアル駆動放電加工機を開発することで、極間雰囲気改善することが可能となれば、電極消耗が減少し、加工精度が向上する。また、複数本の電極を使用する必要がなくなり、エネルギー消費を抑えた、環境負荷の低減につながる。本加工システムが、市販の放電加工機に展開されることで、深穴放電加工や放電が不安定になりやすい加工条件下においても高い加工安定性と精度が確保され、従来は困難とされていた領域への応用が期待される。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

放電加工において、工具に超音波振動を援用することで加工特性の向上が報告されている。しかし、その効果には複数の要因が考えられており、ポンピング効果(加工液の対流)、キャビテーション効果(洗浄効果)、有効放電数の増大などが挙げられる。そこで、これらの各要因が加工特性に与える影響を明らかにするため、振動の振幅・周波数を定量的評価することが可能なピエゾステージを加工機に実装した。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

学術論文

- [1] 平尾篤利, 加藤禎孝, 王晨雪: 電極形状が深穴放電加工の極間雰囲気にあたえる影響, 日本設計工学会, Vol.60, No. 5, (2025), pp. 281-292.

講演論文

- [1] 王彦鈞, WANG CHENXUE, 平尾篤利: デュアル駆動放電加工機用いた形状創成, 2025年度精密工学会春季大会学術講演会(2025)139.
- [2] 平尾篤利, 柳田誠人, 辻田容希, 谷貴幸: 放電パルス波形形状が加工現象に与える影響, 日本機械学会北陸信越支部2025年合同講演会
- [3] 柳田誠人, 辻田容希, 谷貴幸, 平尾篤利: 単発放電加工における放電波形が加工雰囲気にあたえる影響, 2024年度電気加工学会全国大会全国大会講演論文集, (2024)3-4. (2024/12/5-6@姫路)
- [4] WANG CHENXUE, Tomohiro Sasaki, Atsutoshi Hirao: Ultrasonic flexural vibration assisted EDM, 2024年度電気加工学会全国大会全国大会講演論文集, (2024)75-76.

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

デュアル駆動放電加工機の開発による高精細仕上げレス加工と省エネルギー化に関する補助事業報告書

(https://www.ed.niigata-u.ac.jp/~hirao/overview/2024_JKA_report.pdf)

目次

第1章 序論	3
1.1 放電加工	3
1.1.1 はじめに	3
1.1.2 放電加工とは	4
1.2 深穴放電加工	6
1.2.1 深穴放電加工の概要および問題点	6
1.3 本研究の目的	8
1.3.1 本研究の背景および従来研究との関連性	8
1.3.2 本研究の目的	8
1.3.3 本論文の構成	8
第2章 Dカット型形状電極による深穴放電加工の加工限界	10
2.1 緒言	10
2.2 Dカット型形状電極製作	10
2.3 実験装置・条件	13
2.3.1 形彫り放電加工機	13
2.3.2 実験条件	15
2.4 実験結果および考察	16
2.5 第2章結言	18
第3章 2Dシミュレーション	19
3.1 緒言	19
3.1.1 COMSOLとは	19
3.1.2 モデル作成・解析法	21
3.1.3 シミュレーション条件・回転の様子	23
3.2 シミュレーション結果	26
3.2.1 円形状モデル	26
3.2.2 ドリル形状モデル	27
3.2.3 1/2Dカット形状モデル	28

デュアル駆動放電加工機の開発による高精細仕上げレス加工と省エネルギー化

1

3.2.4 3/4Dカット形状モデル	29
3.3 第3章結言	31
第4章 3Dシミュレーション	32
4.1 緒言	32
4.1.1 モデル作成・解析法	32
35	
4.1.2 シミュレーション条件	37
4.2 シミュレーション結果	39
4.2.1 円形状モデル	39
4.2.2 ダンベル型形状モデル	43
4.2.3 1/2Dカット形状モデル	48
4.2.4 3/4Dカット形状モデル	52
4.3 第4章結言	58
第5章 結論	60
5.1 本研究のまとめ	60
5.2 今後の課題	62
参考文献	63

デュアル駆動放電加工機の開発による高精細仕上げレス加工と省エネルギー化

2

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(ヒラオアツトシ)

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

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