

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：12103

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04189

研究課題名（和文）アークプラズマの滑り現象を用いた放電表面改質法および金属3D堆積法の開発

研究課題名（英文）Development of discharge surface modification method and metal 3D deposition method using sliding arc plasma

研究代表者

谷 貴幸（Tani, Takayuki）

筑波技術大学・産業技術学部・教授

研究者番号：80279554

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、電極と加工物との間に高速に相対運動を与え、アーク柱を滑らせながら加工することにより、電極材料を被加工物側に移行させる表面改質法を提案している。薄肉のパイプ電極を高速に回転を与え、長いパルス幅の条件を選択することにより、表面改質を達成している。ただし、パイプ形状であるため材質に限られるといった問題があった。そこで、同様の効果を細線による相対運動を付与することにより実現を試みた。細線に円運動を与え、これを走査した結果、相対運動速度がかなり小さい条件においても、加工物はほとんど除去されることなく、表面改質が達成されることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

細線を走査する放電加工によって、放電表面改質が可能となることは、圧粉体などの特別材料を必要としない点において大きなメリットがある。また、タンゲステンなどの高融点材料の適用も可能となる。これらのことは材料選択や装置構成において非常に有利であり、広く普及した放電加工技術の延長上において使用されることが想定される。よって、汎用性の高い技術となることが期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we propose a surface modification method in which high-speed relative motion is applied between the electrode and the workpiece, and the electrode material is transferred to the workpiece by processing while sliding the arc column. Surface modification is achieved by rotating a thin-walled pipe electrode at high speed and selecting a long pulse duration condition. However, there is an issue that the applicable materials are limited because of the pipe shape. Therefore, we attempted to achieve a similar effect by using the relative motion of a thin wire. By applying a circular motion to the thin wire, it became clear that surface modification could be achieved without removing the workpiece, even under conditions where the relative motion speed was slow.

研究分野：生産工学

キーワード：放電加工 表面改質 走査加工 パイプ電極 細線電極

### 1. 研究開始当初の背景

放電加工法が誕生してから約70年が経過し、高硬度材料の金型、部品等の加工に留まらず、アークプラズマを利用した表面改質などの表面への機能付与にも発展している。放電表面改質法では、見掛けの熱伝導率を小さくして消耗を大きくさせるために、粉末を固めた圧粉体や焼結体などが電極として使用される。加工中は、表面改質と同時に加工物も除去されるため、加工表面は、一旦は盛り上がるが、その後はある一定の膜厚を保ったまま除去が進行する。このため、形成される被膜の厚さは加工条件によってほぼ決定されるが、高さ方向の制御は困難となっている。また、電極に圧粉体を用いるため、通常の放電加工に比べて加工面の粗さは大きく、切削加工や研削加工による2次加工も必要となっている。

### 2. 研究の目的

通常の放電加工法ではすでに表面粗さの小さい鏡面加工を達成しているにも関わらず、表面改質に用いる際には、その表面の粗さの制御はできていない。本研究では、新しい表面改質法を提案し、適用の可能性を検討する。

予備実験として、放電のパルス幅を  $3000\mu\text{s}$  と比較的長く設定し、円筒パイプを  $1500\text{rpm}$  で回転させながら、走査放電加工を行った。パイプは薄肉形状(厚さ:  $0.2\text{mm}$ ) を選択し、熱抵抗が大きく消耗しやすい形状としている。パイプを銅(陰極)、加工物をタングステン(陽極)として、走査放電加工を実施した結果を図1に示す。この結果から、タングステンの表面に銅成分が全面にわたって均一に付着していることが分かる。また、右側の写真は、パルス幅を通常の放電加工において使用される  $10\mu\text{s}$  の条件にて行った結果であり、この場合もわずかに銅の付着が見られるが、均一性はかなり低く、加工物も除去されている。これに対して、パルス幅が長い条件下での加工においては、その表面にはやや光沢があり、表面粗さもかなり小さい結果となった。しかしながら、わずかに加工物の除去が生じることやパイプ形状に限られる点から、更なる汎用性を高めるために細線電極による走査加工により、放電表面改質の可能性を検討した。

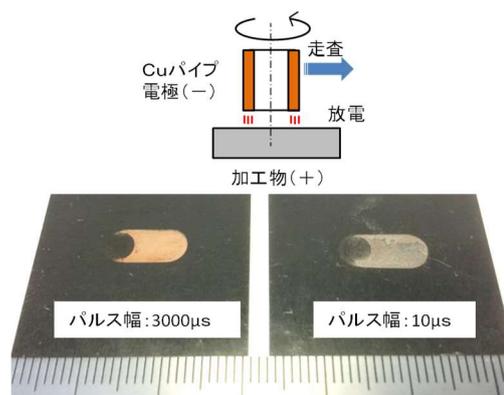


図1 パイプ走査加工による表面改質

### 3. 研究の方法

本研究で使用する実験装置の概要を図2に示す。油中において、円柱電極の側面に細線を取り付け、回転させながら放電表面改質を実施した。細線の円運動の平面と加工面が平行になるように調整するためのXY軸傾斜ステージを加工槽の下に設置した。放電回路はトランジスタ回路とし、常に放電パルス幅を一定にするために、放電波形制御方式としてアイソパルス制御方式を用いた。また、加工中の極間電圧を取り込み、Z軸のサーボ制御に用いた。円柱電極および細線は銅、加工物はタングステンとした。

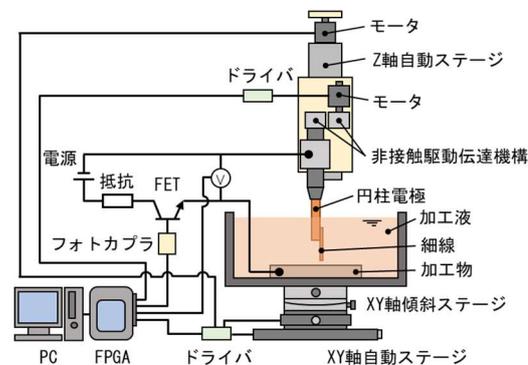


図2 実験装置

加工後は熱分解カーボン被膜を除去し、表面改質面の観察および触針式表面形状測定機による断面形状の測定を実施した。

### 4. 研究成果

#### (1) 銅細線電極による結果

図3に示すように、円柱電極を回転させ、放電表面改質を実施した。加工時間は30分とした。なお、放電パルス幅の長短による影響を比較するために、放電パルス幅  $10\mu\text{s}$ 、休止時間  $10\mu\text{s}$  の条件での放電表面改質も実施した。同図には加工中における電極位置の推移の結果を示している。また、同図に放電パルス幅  $10\mu\text{s}$  および  $1000\mu\text{s}$  それぞれの表面改質面の観察結果および断面形状の測定結果を示す。

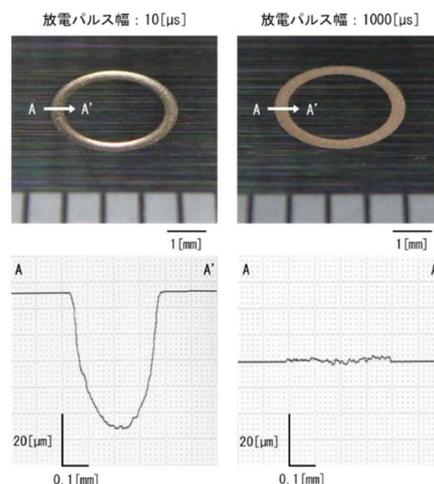


図3 移動細線電極による加工面

放電パルス幅が  $10\mu\text{s}$  の場合、細線電極の消耗が  $1000\mu\text{s}$  と比較して小さく、加工物も除去されているという結果になった。放電パルス幅が  $1000\mu\text{s}$  の場合、細線電極の消耗が大きいうえ、加工物表面に細線の銅成分が均一に付着し、表面がわずかに盛り上がるという結果になった。

この円柱電極を回転させながら走査加工を実施した。走査距離は  $5\text{mm}$ 、走査速度は  $0.1\text{mm}/\text{min}$  とした。表面改質面の観察結果および断面形状の測定結果を図5に示す。放電パルス幅が  $10\mu\text{s}$  の場合、加工物表面に細線の銅成分の付着がわずかに見られるが、均一性は非常に低く、加工物も除去されているという結果になった。放電パルス幅が  $1000\mu\text{s}$  の場合、細線の銅成分が均一に付着し、表面がわずかに盛り上がるという結果になった。

以上の結果から、電極と加工物に相対運動を与えることによって、放電中において熱源が移動するため、材料が除去されにくくなると考えられる。この間に細線を大きく消耗させることにより、加工物を除去せずに、電極材料が加工物表面に移行し、表面が改質されると考えられる。上記の放電表面改質においては、放電パルス幅を長く設定することが有効であると考えられる。

#### (2) タングステン電極の適用

より硬質な被膜の形成を目的として、タングステン細線電極による走査放電加工を試みた。表面改質特性を比較するために、放電パルス幅の長短と電極極性 (+, -) を組み合わせた4パターンでの放電表面改質を実施した。その結果(3D画像)を図6に示す。

放電パルス幅が短い条件の場合、両方の電極極性において、全体的に加工物が除去されるという結果になった。放電パルス幅が長い条件の場合、電極極性 (-) では移動細線電極の経路の一部に、細線材料が加工物に移行して、表面が改質されたと考えられる部分が観察された。しかし、加工物がわずかに除去された部分も観察され、全体的に表面改質面は不均一な結果となった。電極極性 (+) では全体的に加工物が除去され、細線の先端に何かしらの材料が付着されるという結果になった。

電極極性 (-)、パルス幅が長い条件においては、放電表面改質の実施中の様子を観察した結果、細線が加工物に接触(短絡)した後に爆発するような現象が時々発生していた。その影響により、表面改質面が不均一になったと考えられる。そこで、短絡した場合でも、このような現象が発生しないように放電電流を小さくして、放電表面改質を実施した。今回は、抵抗を  $80\ \Omega$  とした。その結果を図7に示す。図7より、放電電流を小さくした結果、均一な表面改質面が形成された。また、放電表面改質の実施中に爆発するような現象は観察されなかった。この条件において、走査放電加工実施した例を図8に示す。この結果から、指定範囲に表面改質をすることが可能となることが示された。

以上の結果から、相対運動を付与した細線電極走査放電加工により表面改質の可能性が確認された。この技術には特別な装置を必要とせず、様々な細線電極による適用が可能であると考えられることから、放電表面改質の有用な手段の一つとなる可能性がある。

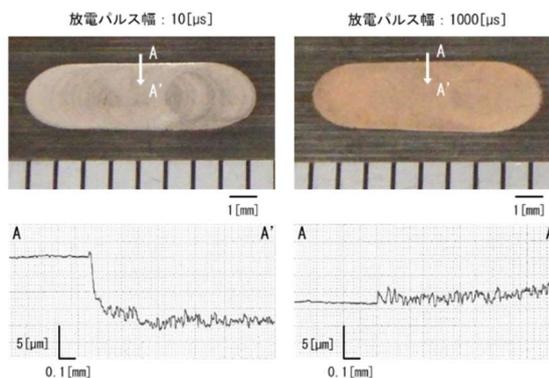
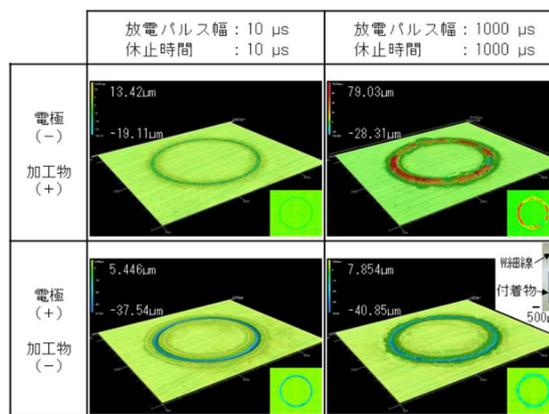
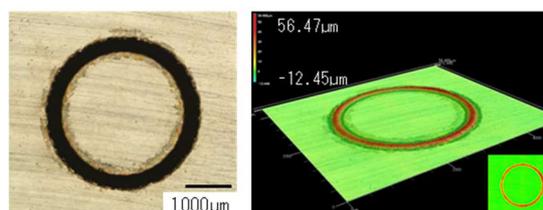


図5 移動細線電極による加工面(走査加工)



(c) 表面改質特性の比較

図6 タングステン細線電極による加工面



(a) 光学画像

(b) 3D画像

図7 低電流条件による細線電極加工

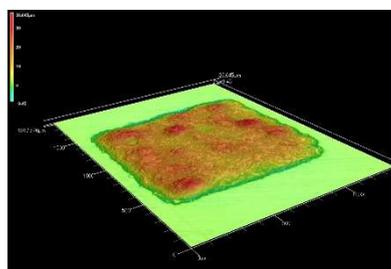


図8 細線走査放電加工による表面改質

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yoshiki Tsujita, Takayuki Tani, Hiromitsu Gotoh, Atsutoshi Hirao, Naotake Mohri	4. 巻 28
2. 論文標題 Observation of Material Removal by a Single Electrical Discharge: Consideration of Material Properties and Carbon Layer Forming Process	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 International Journal of Electrical Machining	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Atsutoshi HIRAO, Hiromitsu GOTOH, Takayuki TANI	4. 巻 113
2. 論文標題 Effect of Electrode Shape on High Aspect Ratio Deep Hole Drilling by EDM	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Procedia CIRP	6. 最初と最後の頁 260-565
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 辻田容希、谷貴幸、後藤啓光、平尾篤利、毛利尚武	4. 巻 45巻140号
2. 論文標題 細線電極および薄肉パイプ電極を用いた放電加工の試み	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電気加工技術	6. 最初と最後の頁 17-22
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 辻田容希、谷貴幸、後藤啓光、平尾篤利、毛利尚武
2. 発表標題 円運動細線電極による放電表面改質の試み
3. 学会等名 電気加工学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 辻田容希、谷貴幸、後藤啓光、平尾篤利、毛利尚武
2. 発表標題 放電加工における放電痕形成過程およびカーボン付着の関係
3. 学会等名 電気加工学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平尾篤利、後藤啓光、谷貴幸
2. 発表標題 単発放電加工における材料除去過程 - アーク柱および材料除去の同期観察 -
3. 学会等名 電気加工学会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	丹野 格 (Tanno Itaru)  (30435391)	筑波技術大学・産業技術学部・准教授  (12103)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------