

平成 2 1 年 4 月 30 日現在

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19360327

研究課題名 (和文) マイクロ放電創成による微小部品の機能性発現に関する研究

研究課題名 (英文) Function Control of Miniature Products

by Micro Electrical Discharge Machining.

研究代表者 毛利 尚武 (MOHRI NAOTAKE)

東京大学・大学院工学系研究科・教授

研究者番号：90126186

## 研究成果の概要：

微小機械の製造において、リソグラフィを対象とした従来の加工材料の制約を打破するために、放電加工法をマイクロ形状創成加工に適用してその可能性を検討した。このためにピエゾ駆動を用いた高応答・高分解能型の放電微細加工装置を開発した。放電加工環境を適宜選択して、スリット中心追跡制御方式による微小工具あるいは機能性微小部品の実現を図った。これにより、金属、セラミックス、磁性体を対象としたマイクロ加工の可能性を示し、その効果を確認した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 19 年度	9,900,000	2,970,000	12,870,000
平成 20 年度	5,700,000	1,710,000	7,410,000
年度			
年度			
年度			
総計	15,600,000	4,680,000	20,280,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学、材料加工・処理

キーワード：放電加工、マイクロ放電加工、気中放電加工、ピーリング電極、放電発光現象、  
ペルチュ素子、バイメタル、カンチレバー

## 1. 研究開始当初の背景

ナノ・マイクロプロセス工学の振興は、情報通信、バイオ・医療技術の基盤的役割を担っていて、わが国技術戦略の中核である。マイクロナノ領域において現在用いられてい

る加工プロセスは、ほとんどがリソグラフィ方式による2次元加工あるいは平面の積層転写加工である。凹凸の大きな形状に対しては電子・イオンビームやレーザービーム方式が用いられる。いずれの加工プロセスも数十ナノ

メータルールの加工を実現しているが、対象となる材料はシリコンを基本とする半導体が多い。このため目覚ましい発展が期待されている微小機械の製造においては、半導体を中心としたセンサー、アクチュエータなどの部品製造に留まり、マイクロメートル級であっても独立した機械の実現は難しい。

これらは、上記製造方式においては対象材料の制限が大きいことが理由のひとつと考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究は、放電加工環境を適宜選択して、スリット中心追跡制御方式による微小工具あるいは機能性微小部品の実現を目的とする。このためにピエゾ駆動を用いた高応答・高分解能型の放電微細加工装置を開発する。

液中、気中放電による様々な機能性材料に対する微細加工を実施し、その効果を確認する。

実施した内容は以下の4項目である。

- (1) マイクロ放電加工システムの構築
- (2) 機能付与マイクロ放電加工
- (3) マイクロ放電加工における機上計測
- (4) 減圧雰囲気微細放電加工

## 3. 研究の方法

### (1) マイクロ放電加工システムの構築

本研究における基本的な工具製作法は、加工物を電極プレートに対して回転走査することにより微細工具を形成する。この際、1枚の電極プレートに対する走査加工と、2枚のプレートを平行配置して形成したスリットの中心を追跡制御する方法とを採用した。さらに、加工物も、タングステンなどの細線をそのまま利用方法と、特に細い細線の場合は、これを予めより低い融点の合金で包埋して製作した2重構造加工物を用いた。

図1にスリット間中心軸追跡制御による微細軸形成機構を示す。

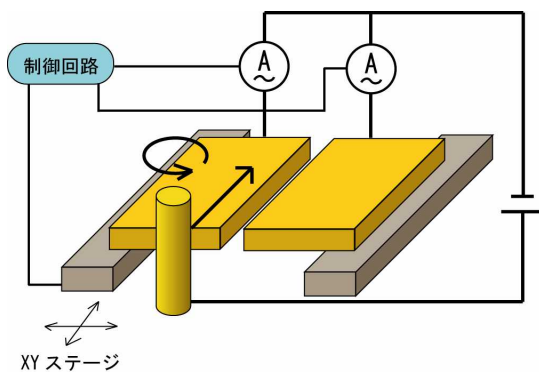


図1 スリット間中心追跡加工法

### (2) 機能付与マイクロ放電加工

熱駆動型バイメタル・ペルチエアクチュエータの開発を行った。微小部品を把持するなどのマイクロハンドリング機構を実現するために、比較的大きな変位を実現できるバイメタル機構を採用した。温度制御にはペルチエ素子を利用し、制御電流を転極して実行した。市販のバイメタルをワイヤ放電加工により微細形状に切り出しその特性を調査した。

さらに微小駆動原の実現を目的としたマイクロ磁極形成法として、着磁後のネオジウム系強磁性体に対する放電加工を実施し、その加工特性を調査した。

### (3) マイクロ放電加工における機上計測

50 $\mu\text{m}$ 以下の微細形状を形成する手段としての微小放電加工の現象を解明するために、加工表面をマイクロプローブで機上走査計測を実行する機構を構築した。プローブの先端テーパ角と同程度の勾配であれば確実に計測でき、先端の曲率半径と同程度の分解能を得ることができる。工具電極と加工物の双方を同一機上で測定するために、計測プローブを2本配置している。

さらに、放電直後の加工点近傍の温度計測を実行するために、多色法による輻射温度計を構築した。

### (4) 減圧雰囲気微細放電加工

通常の放電加工は液体を極間媒質としている。これは、極間の加工液によって絶縁破壊率が高くなり、放電が発生しやすくなるためである。加工液によって、極間距離が広くなり放電が安定する。これに対して、気中放電は極間距離が狭く不安定に陥りやすい。ここでは、絶縁破壊確率を高くするために、減圧放電チャンバーを製作して低気圧雰囲気下で微細放電加工を実施した。

また、比較のために、電子ビームマイクロ加工を実施した。切削加工後や放電加工後の表面に照射、微細な凹凸部を溶融させ、表面を平坦化する。電子ビーム照射後の表面形状の観察を行い、面粗さの重要な決定要因である照射痕の評価を行った。

## 4. 研究成果

### (1) マイクロ放電加工システム

軸の走査方向とスリットの間隔を一致させるために、双方のプレートを絶縁してこれらに流れる放電電流が一致するよう走査制御する。この方式は回転軸に対して放電が両側面に均等に発生するから、微細軸であっても軸振動が抑えられ、安定加工が実現する。この結果、0.5mm程度の直径の軸に対して2分程度で数十 $\mu\text{m}$ 以下の軸が達成された。

一方、直径が数 $\mu\text{m}$ 程度の微細軸を実現するには、電源に新たな工夫を必要とすることが判明し今後の課題となった。

さらに、微細軸形成の新たな方法として、記述のごとく2重構造の電極作成法を考案した。10数 $\mu\text{m}$ の直径を有するタングステンワイヤをコアとし、これを数mmのクラッド材(数十度の低融点合金)でくるんだ複合構造電極を作成した。実加工においてはクラッド材のピーリング放電加工を実施し、その効果を確認した。

## (2) 機能付与マイクロ放電加工

熱駆動型バイメタル・ペルチェアクチュエータとして、切り出し幅1.0mmのバイメタルの変位測定を実施し、その結果を図2に示す。自然放熱によって冷却した場合に比べてペルチェ素子の発熱面と吸熱面を入れ替えた場合には、1/10程度で元の状態に戻った。このことから、ペルチェ素子機構を用いることでバイメタルの変形の応答特性が大幅に向上していることが判る。バイメタルの切り出し幅をさらに小さくするか極薄のバイメタルを用いるならば熱容量は小さくなりさらに応答性は向上する。

バイメタル製作の一方法として、メッキ法を利用した薄型バイメタルを試作した。インバー薄板(厚さ20 $\mu\text{m}$ )に対して膜5 $\mu\text{m}$ の銅薄膜が形成させた。この薄型バイメタルの応答特性は約2.4秒程度に向上した。

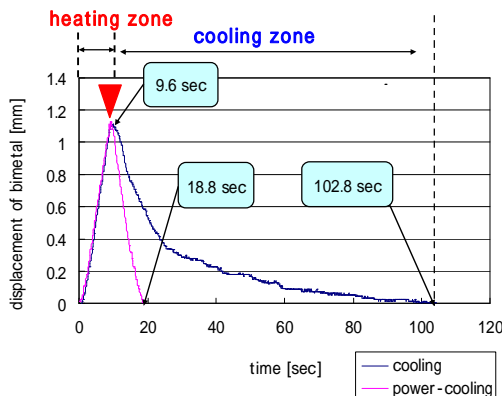


図2 バイメタルの変位応答

## (3) マイクロ放電加工における機上計測

加工物と微細工具電極の状態を機上で計測した。この概念図を図3に示す。工具電極および加工物測定用プローブは、自動ステージにより駆動される同じプラットフォーム上に固定される。このステージはパルスモータによる粗動機構とピエゾチューブによる微動機構の2段階になっている。これにより加工の進行に伴う形状変化を追跡できる。実測の結果、連続した放電は分散して発生していることが推定された。

放電点の温度計測は記述の輻射温度に加えて、熱伝対の放電成形過程の直接測定とにより、沸点から融点近傍にいたる温度推移が概ね推定可能であることを確認した。将来はマイクロ凝固分野における有効なツールが得られると期待される。

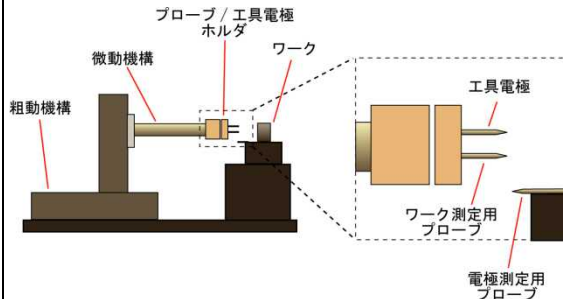


図3 2針機上計測の概念図

## (4) 減圧雰囲気微細放電加工

各雰囲気下において加工した加工物表面をSEMによって観察した結果を図4に示す。特に、減圧雰囲気下10Paで加工した表面には、クラックが確認されない、きわめて特徴的な結果が得られた。

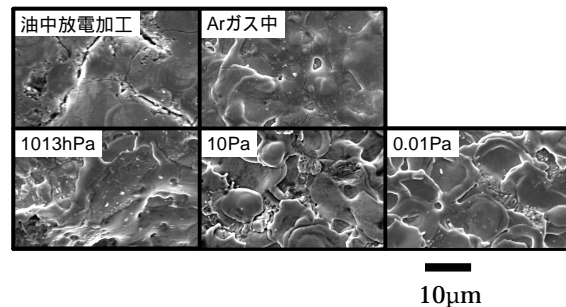
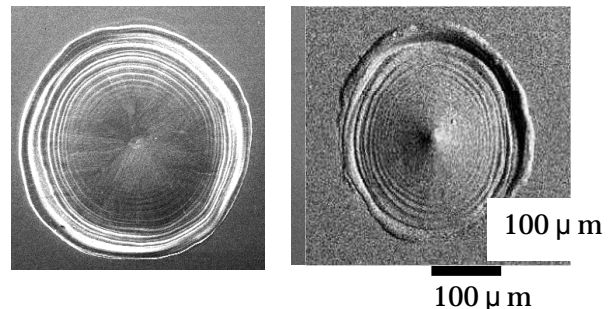


図4 各種の環境下での加工後の表面状態

鉄鋼表面に対する電子ビーム加工においては、加工物材料中のS(硫黄)の含有量が加工痕の形状に特徴的な違いを見せた。

図5に表面SEMのTOPO像を示す。微細加工痕の形成において表面張力の温度依存性が重要な役割を果たしていることを示している。



金型工具鋼 硫黄塗布鋼材加工面

図5 加工痕に及ぼす硫黄の影響

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計9件)

・2008年度

1. International Journal of Automation Technology

Hideaki Takezawa, Naotake Mohri, Kouhei Asano, Yasunori Kodama, Development of Micro Electrical Discharge Machine 124 -130(2008) 査読有り

2. ワイヤ工具を用いた複合加工機の開発

平尾篤利、谷貴幸、後藤啓光、毛利尚武  
電気加工学会誌 130 -136(2008) 査読有り

3. 絶縁性 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> セラミックスワイヤ放電加工特性 導電性被膜の形態と加工特性との関係 谷貴幸、後藤啓光、毛利尚武  
電気加工学会誌 137 -144(2008) 査読有り

・2007年度

4. A Study on Single Discharge Machining with Low Melting Temperature Alloy

Hideki Takezawa, Hiroataka Kokubo, Naotake Mohri, Kenichiro Horio, Daisuke Yanagida, Nagao Saito

Proceeding of the 15th International Symposium on Electromachining (ISEM XV) 69 -73(2007) 査読有り

5. Effect of Discharge Current on the Occurrence Time of Cavitations

Yoshiaki Akematsu, Kazuro Kageyama, Naotake Mohri, Hideaki Murayama

Proceeding of the 15th International Symposium on Electromachining (ISEM XV) 105 -109(2007) 査読有り

6. On the Machine Slicing System with a Tool Wire for 3D Observation

Atsutoshi Hirao, Naotake Mohri, Takayuki Tani, Hiroshi Sakuta

Proceeding of the 15th International Symposium on Electromachining (ISEM XV) 159 -163(2007) 査読有り

7. Machining of Insulating Materials by EDM with Micro Pin Electrode

Takayuki Tani, Naotake Mohri, Hiromitsu Gotoh,

Haruo Sai, Masaaki Okada

Proceeding of the 15th International Symposium on Electromachining (ISEM XV) 257 -261(2007) 査読有り

8. 大電流単発放電における微細軸形成現象の時間分析観察とその形成ダイナミクス

田辺里枝、伊藤義郎、毛利尚武

精密工学会誌 682 -687(2007) 査読有り

9. 放電複合加工における超音波付与効果と

その実用化 平尾篤利、谷 貴幸、毛利尚武、

齋藤長男 精密工学会誌 781 -785(2007) 査読有り

[学会発表](計7件)

・2008年度

1. ピーリング複合工具を用いた微細放電加工 複合異種材料の加工特性

李珠瓊、毛利尚武、後藤啓光、谷貴幸、武沢英樹、増沢隆久

電気加工学会全国大会

2008.11.28 キャンパスイノベーションセンター東京

2. 気中走査放電加工による表面改質

谷貴幸、後藤啓光、桑原吉英、毛利尚武、齋治男

2008.11.28 キャンパスイノベーションセンター東京

3. Tic 燃結体電極を用いた放電表面改質膜の形成メカニズムに関する一考察

松川公映、後藤昭弘、齋藤長男、毛利尚武

2008.11.28 キャンパスイノベーションセンター東京

・2007年度

4. 超短パルス放電の観察

梅田和彦、毛利尚武、谷 貴幸、後藤啓光、平尾篤利

2008年度精密工学会春季大会 2007.3.17 明治大学

5. ピーリング工具を用いた微細加工

李 珠瓊、後藤啓光、谷 貴幸、武沢英樹、毛利尚武、増沢隆久

2008年度精密工学会春季大会 2007.3.17 明治大学

6. SPM による放電加工表面の観察

佐久田昌博、平尾篤利、谷 貴幸、武沢英樹、毛利尚武

2008年度精密工学会春季大会 2007.3.17 明治大学

7. パイメタル形成及び熱駆動型パイメタル

アクチュエータへの応用研究  
山口晋典、毛利尚武、谷 貴幸、後藤啓光  
2008年度精密工学会春季大会 2007.3.17 明治  
大学

〔産業財産権〕  
出願状況（計1件）

名称：微細工具の製造方法及び微細工具の製造装置  
発明者：毛利尚武、増沢隆久、谷貴幸、後藤啓光  
権利者：同上  
種類：特許権  
番号：特願 2008-49661  
出願日：2008.2.29  
国内外の別：国内

取得状況（計0件）

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

毛利 尚武 (MOHR I NAOTAKE)

東京大学・大学院工学系研究科・教授

研究者番号：90126186

##### (2) 研究分担者

##### (3) 連携研究者