

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月30日現在

機関番号：12103  
 研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2010 ～ 2012  
 課題番号：22760093  
 研究課題名（和文） 放電加工法による機能性セラミックスの工具運動包絡体の実現に関する研究  
 研究課題名（英文） Study on realization of the tool movement envelope for the fine ceramics by electrical discharge machining  
 研究代表者  
 後藤 啓光（GOTOH HIROMITSU）  
 筑波技術大学・産業情報学科・助教  
 研究者番号：90389718

研究成果の概要（和文）：本研究ではセラミックスに対する放電創成加工を実施した。また、絶縁性 $\text{Si}_3\text{N}_4$ セラミックスに対する放電加工における電極材質を検討した。さらに、ワイヤを電極として使用することで、工具電極の消耗を考慮する必要がない回動ワイヤガイドを用いたワイヤ放電ミーリング法を開発した。

研究成果の概要（英文）：Electric discharge forming for insulating  $\text{Si}_3\text{N}_4$  ceramics was carried out in this study. And the electrode material in the electrical discharge machining to insulating  $\text{Si}_3\text{N}_4$  ceramics was examined. Furthermore, I developed the wire electrical discharge milling method (WED-milling method) using wire guide with reciprocating rotary motion. It is not necessary to consider the wear of the tool electrode because we use a wire for a tool electrode by this method.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：成形加工

## 1. 研究開始当初の背景

今日における我が国の経済発展を支えた産業として金型産業が挙げられる。近年、金型産業では製品の小型化に伴い、微細で高機能な金型が必要とされており、特に半導体ICチップの封止用モールド金型には、高機能な封止剤や半導体パッケージ材料が適用されている。これに伴い、モールド樹脂も多様化し様々なフィラーを高充填化する傾向にあり、ICチップをモールドする際、高充填したフィラーによる磨耗などにより、金型の消耗が早期化している。そのため、耐腐食性と耐摩耗性に優れる次世代金型が必要とされている。

一方、機能性セラミックスは高硬度、耐熱性、耐食性、耐摩耗性などに優れた材料として注目されている。そのため、金型の分野ではこのような材料の適用が望まれるが、高硬度であるがゆえに韌性が乏しく、目的とする形状を付与することは極めて困難である。

このような機能性セラミックスに対する加工手法として、高アスペクト比の細溝加工が容易であり、製作する加工形状の自由度が極めて高い放電創成加工が検討されるが、機能性セラミックスの多くは絶縁性であるため放電加工を適用する

ことは不可能であった。加工が検討されるが、機能性セラミックスの多くは絶縁性であるため放電加工を適用することは不可能であった。

しかしながら近年、「補助電極法」と呼ばれる手法を適用することで、絶縁性の機能性セラミックスに対する放電加工が可能となった。

図1に補助電極法の概要を示す。図1に示すように、あらかじめセラミックスの表面のみ導体化処理（補助電極となる）を施した被加工物に対し、油中で放電加工を行い放電に伴って生成する導電性の物質で被加工物表面を覆わせることで加工を継続させる手法である。

本研究では、放電創成加工の分野に補助電極法を用いた機能性セラミックスに対する加工技術を適用することで、セラミックスに対する放電創成加工技術を確立することを目的としている。図2に自作した加工機械を用いて機能性セラミックスに対する放電加工を試みた加工例を示す。図2に示すように、直径1mm程度のパイプ形状の丸棒を使用し格子状の形状加工が容易に実現できる。このような形状加工は他の加工手法では極めて困難であ

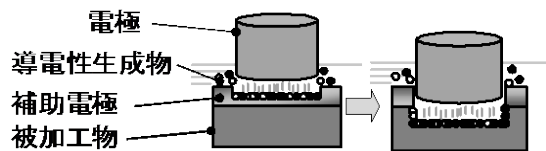


図1 補助電極法の概要



図2 自作放電加工機による機能性 $\text{Si}_3\text{N}_4$ セラミックスに対する放電創成加工例

## 2. 研究の目的

形状付与方法には、マスター形状を転写する方法（総型電極による放電加工など）と単純形状の工具を走査しながら形状を作製する方法（放電創成加工など）とがある。

総型電極を用いた形彫放電加工では、電極の消耗に起因する加工精度低下に対する対応として複雑形状の電極が多数必要となる。一方、放電創成加工では単純形状の電極であるため、複雑形状の電極製作工程を省略できる。しかしながら、現在の走査放電加工では電極消耗に起因する精度の低下を補償しきれてはいない。本研究ではこのような電極消耗の課題を解決する手法について検討する。

## 3. 研究の方法

放電創成加工では、丸棒や角棒などの単純形状の電極を用いて加工を行うため、形彫放電加工に必要な複雑形状の総型電極製作工程を省略し、形状加工を行うことが出来る。

しかしながら、放電創成加工では、通常の切削加工とは異なり、加工後の形状は単純な工具運動に伴う包絡体とはならない。これは、加工中に電極が消耗し工具形状が変化することに起因する。そのため、加工後の形状精度を補償するための手法として、あらかじめ工具の消耗をデータベース化し、それに応じた工具位置補正が行われている。しかしながら、この手法では、電極消耗の影響を完全に無視することが出来ない。そのため、放電創成加工は電極作製の工程を省略することが出来るにもかかわらず広く利用されていない。

そこで本研究では、図3に示すようなワイヤガイドを使用した放電加工を実施する。この手法では、走行ワイヤを切り刃とすることにより、原理的に摩耗や構成刃先などの工具形状の変化の影響を受けず、工具運動の軌跡のみで理想的な形状加工が可能となる。すなわち、加工後の形状は単純な工具運動に伴う包絡体となる。

また、セラミック加工に適した亜鉛合金の調査も行った。

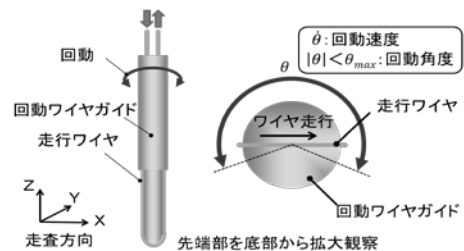


図3 回転ワイヤガイドの概要

## 4. 研究成果

### (1) 放電創成加工の試み

#### ①電極材質の影響

$\phi 1\text{mm}$ の各種電極（中実）を用い、厚さ5mmの $\text{Si}_3\text{N}_4$ 板の貫通穴加工を実施した加工結果を図4に示す。図4に示すように、銅および黄銅を使用した場合の加工速度が速い。また、そのなかで銅を使用した場合には電極消耗率が10%程度であるのに対し、黄銅を使用した場合には電極消耗率が約50%となった。

そこで、加工速度が良好であり、電極消耗率が異なるCu電極と、Cu-Zn電極を用いて、電極形状が与える影響について実験を行なった。

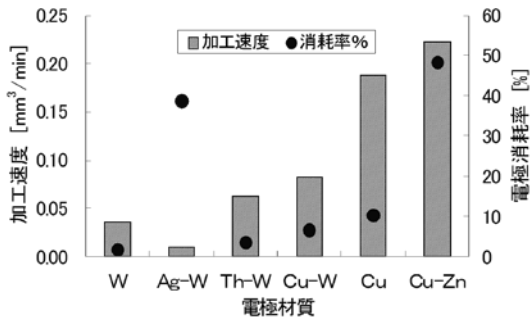


図4 電極材質の影響

②電極形状の影響

電極形状の影響について実験を行なった結果を図5に示す。さらに、加工後の試料をワイヤ放電加工により切断し、ショットピーニング処理を施して表面に形成された導電性被膜を除去し、溝中央部の断面形状の観察を行った結果を図6に示す。図5に示すように、パイプ電極を使用した場合、電極の消耗が激しくなった。一方、図6に示すように走査放電加工を行った場合、パイプ電極を使用した方が中実電極を使用した場合と比較し、よりフラットな底面を加工できた。

これは、パイプ電極を使用した場合、電極底面での放電が主体となり、長さ方向の消耗が激しくなるため、加工中の電極の形状変化を抑えることが出来たためであると考えられる。このように、円筒形状を使用した走査放電加工がセラミックスに対する放電加工においても有効であることが確かめられた。しかしながら、パイプの肉厚部分の形状精度の劣化を抑えることは困難であり、形状精度を保つためにはさらに補正などを行なう必要があると考えられる。

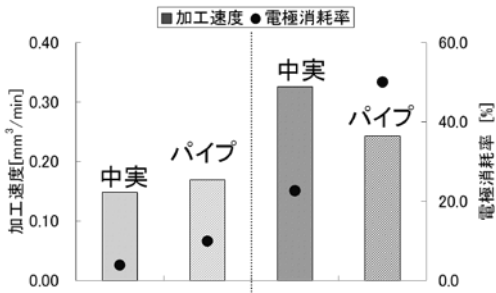


図5 電極形状の影響

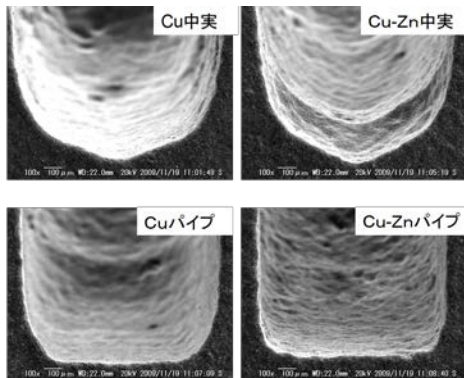


図6 溝中央部の断面形状

このように、電極材質・形状などにより、電極が激しく消耗する状態で加工を実施することで、加工対象物の形状劣化を抑えることができることが判明した。そこで、放電加工において加工特性がよく、量産型の金型材料として用いられる亜鉛合金に着目し、亜鉛合金を電極材料に適用し放電創成加工を実施した。

③特殊亜鉛合金の製作

放電加工において加工特性が良い加工材料として知られている亜鉛合金を電極材料に適用して、電極材料としての適用可能性の検討を行った。電極材料に使用する亜鉛合金として、市販の金型用亜鉛合金ZAPRECの他、3種類の特殊亜鉛合金を使用した。本実験で被加工物となるSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>は絶縁材料であるため、補助電極法を適用して加工を行う。そのため、加工時にセラミックス表面に形成される導電性被膜の形成を補助する効果を期待し、Cu、Alなどを添加した特殊亜鉛合金(①4Al-Zn、②4Al-3Cu-Zn、③7Cu-Zn)を製作して実験に使用した。加工結果を図7に示す。図7に示すように、「③7Cu-Zn」電極を使用した場合の加工速度が最も良好であった。

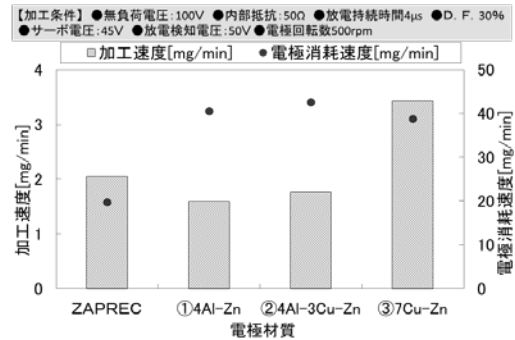


図7 特殊亜鉛合金の加工特性

(2) 回転ワイヤガイドを用いた放電加工

①加工条件および電極材質の検討

加工深さを1mmに設定し、半球形状の加工を行った。デューティーファクター(D.F.)を変えて加工を行った場合の加工時間を図8に示す。また、各条件に対応する加工後の表面状態を図9に示す。図8に示すように、D.F.を大きく設定して加工を行った方が加工時間が短くなった。図9に示すように、D.F.の設定を10%以上として加工した場合には加工表面に放射状の段差が確認された。このような場合でも加工後に、D.F.の設定を4%に設定し、さらにZ方向に0.1mm送り仕上げ加工を行うことによりD.F.4%で加工した場合と同様の加工表面を得ることができた。また、亜鉛被覆ワイヤを使用した方が速度が速い。

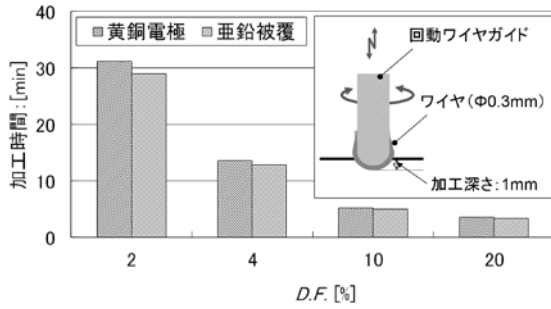


図8 加工条件および電極材質の影響

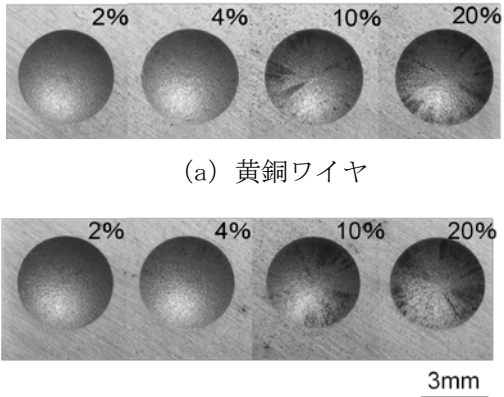


図9 加工後の表面状態

②深穴加工の検討

放電加工油中にて設定工具半径より深い穴の形状加工を試みた。加工深さを3mmおよび8mmに設定して加工した加工部の断面写真を図10に示す。図10に示すような深穴の加工が実現できた。

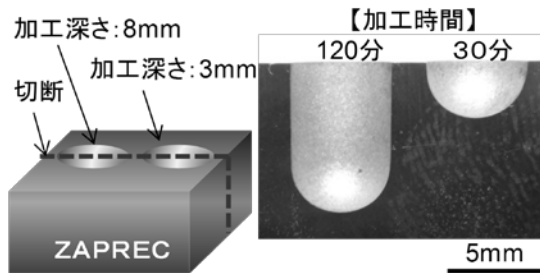


図10 加工部の段断面写真

③走査放電加工の検討

放電加工油中にて走査放電加工を試みた。図11に走査放電加工の概要を示す。設定工具直径3.27mmのガイドを使用し、Z軸方向に1mmの切込みを与え、X軸方向に電極を走査しながら放電加工を行った。加工後の状態を図12に示す。図12に示すように、半球状の断面形状を有する溝形状を加工することが出来た。なお、加工に要した時間は60分程度であった。

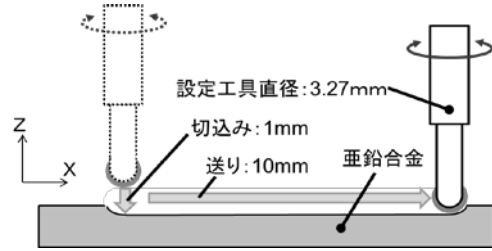


図11 走査放電加工の概要

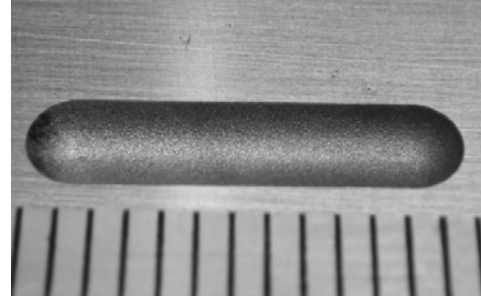


図12 走査放電加工後の状態

## 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1件)

- ① H. Gotoh, T. Tani, M. Okada, A. Goto, T. Masuzawa, N. Mohri, Wire electrical discharge milling using a wire guide with reciprocating rotation, Procedia-CIRP Annals-Manufacturing Technology, 査読有, Vol. 6 (2013), pp. 200-204  
DIO:10.1016/j.procir.2013.03.051

[学会発表] (計6件)

- ① 後藤啓光, 谷貴幸, 後藤昭弘, 増沢隆久, 毛利尚武: 回動ワイヤガイドを用いたワイヤ放電ミーリング加工法の開発-回動条件が加工特性におよぼす影響-, 電気加工学会全国大会(2012), 2012年12月7日, 小倉
- ② 後藤啓光, 谷貴幸, 後藤昭弘, 増沢隆久, 毛利尚武: 回動ワイヤガイドを用いたワイヤ放電ミーリング加工法の開発, 第9回生産加工・工作機械部門講演会, 2012年10月27日, 秋田
- ③ 後藤啓光, 谷貴幸, 毛利尚武: 回動ワイヤガイドを用いたワイヤ放電ミーリング, 2012年度精密工学会春季大会学術講演会, 2012年3月14日, 東京
- ④ 後藤啓光, 谷貴幸, 毛利尚武: 回動ワイヤガイドを用いた放電加工, 電気加工学会全国大会(2011), 2011年11月25日, つくば
- ⑤ 後藤啓光, 谷貴幸, 毛利尚武: 亜鉛合金を用いた $\text{Si}_3\text{N}_4$ セラミックスの放電加工, 2011年度精密工学会春季大会学術講演会, 2011年3月14日, 東京
- ⑥ 後藤啓光, 谷貴幸, 毛利尚武: 絶縁性 $\text{Si}_3\text{N}_4$ セラミックスの放電創成加工に関する研究, 電気加工学会全国大会(2010), 2010年11月25日, 静岡

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

後藤 啓光 (GOTOH HIROMITSU)  
筑波技術大学・産業情報学科・助教  
研究者番号: 90389718