

# 複雑形状に対する揺動放電加工電極設計システム

## Electrode Design System of Orbiting EDM for Complex Shape

80816718 中村有希(Yuki Nakamura) Supervisor 青山英樹(Hideki Aoyama)

### 1. 緒言

放電加工は、切削加工では困難な超硬合金やチタンなどの難削材の加工、微細な形状の加工、高い形状精度が要求される加工に適用されている。形彫放電加工は、通常、Z 軸方向にのみ電極の動きを制御して加工を行う。一方、揺動放電加工は Z 軸に加えて X 軸、Y 軸も含めた電極制御を行い、二次元または三次元のさまざまな揺動パターンで電極と工作物の間に相対的な揺動運動を与えながら加工を行うため、スラッジの排出がスムーズになり加工速度が向上するとともに、電極角部に集中する電極消耗が側面に分散し局部的電極消耗を避けることができ、加工精度を向上することができるため、金型などの加工に採用されてきている<sup>1)~4),6)</sup>。

揺動放電加工では、一つの形状を一度に加工するための総型電極の設計が困難であるため、通常、部位（形状特徴）ごとに異なる電極を設計している。そのため、放電加工時において、部位ごとに電極を再設定してプロセスを実行しなければならず、電極の位置合わせ誤差の発生や加工プロセスの複雑化、加工効率低下を引き起こし、設計者・加工業者にとって大きな負荷となっている<sup>5)</sup>。

本研究では、上記の問題を解決するため、複雑な形状であっても一つの総型電極により揺動放電加工を可能とする電極の設計法を提案し、提案法に基づいて電極設計システムを構築するとともに、構築した電極設計システムの有用性の検証を行った。

### 2. 揺動放電加工電極設計法の提案

#### 2.1 揺動放電加工と揺動パターン<sup>2)</sup>

揺動放電加工では Z 軸に加えて X 軸、Y 軸も含めた制御を行い、加工形状に適した揺動パターンにより電極と工作物の間に相対的な揺動運動を与えながら加工を行う。揺動パターンは、加工形状により、円揺動、角揺動、球揺動、任意揺動が適用される。

#### 2.2 揺動放電加工電極設計法

揺動放電加工では、電極を揺動運動させながら放電加工を行うため、加工により除去される形状は、揺動により移動した電極形状の和集合形状と工作物形状との差集合形状となる。したがって、要求形状（揺動放電加工後に取得したい形状）の揺動運動により形成される和集合形状と工作物形状との差集合形状が、目的とする揺動放電加工の電極形状になると考えることができる。

要求形状は設計形状であり、本研究ではそれを仮想電極とみなして揺動放電加工を行い、結果として得られた形状を、要求形状を成形するための揺動放電加工電極形状とする方法を提案する。要求形状を「仮想電極」、仮想電極により加工される工作物を「仮想工作物」として、以下の手順で電極設計を行う。

(1) 図 1 (a), (b)に示すように、要求形状（設計形状）と工作物形状を CAD データとして入力し、仮想電極モデルおよび

仮想工作物モデルとして構築する。

(2) 図 1 (c)に示すように、仮想電極モデルにより仮想工作物モデルに対して揺動放電加工シミュレーションを行う。このプロセスにおいて、仮想電極モデルの揺動パターンは、実際に揺動放電加工する時の揺動パターンと同じとする。

(3) 図 1 (d)に示されるように、シミュレーションで成形された仮想工作物モデル形状が揺動放電加工電極の形状とする。

### 3. 要求形状に対する最適揺動パターン

要求形状が凹型形状の場合、揺動パターンは形状特徴に応じて最適に決定されなければ、電極の揺動運動により正確に要求形状を加工できない場合がある<sup>7)</sup>。要求形状が凸型形状の場合には、基本的にはどの揺動パターンを選択しても、要求形状の成形が可能ではあるが、成形形状の精度を高めるためには、形状特徴に応じた揺動パターンを選択する必要がある。以下に要求形状特徴に対する最適揺動パターンについて述べる。

#### 3.1 直行する平面を基本として構成される要求形状に対する揺動パターン

要求形状が、図 2 (a)に示されるような直行する平面を基本として形成されているような凹型形状（金型キャビティを想定）や凸型形状（金型コアを想定）、あるいは図 2 (b)に示されるような同形状に対してフィレットが付与された凹型形状（金型キャビティを想定）や凸型形状（金型コアを想定）に対しては、角揺動が適用される。異なる半径を有するフィレットが複数付与されている場合も角揺動の適用が可能である。また、図 2 (c)に示されるような、加工面が異なる角度のテーパ面を有する形状に対しても角揺動が適用される。

#### 3.2 曲面形状に対する揺動パターン

図 3 (a), (b)に示されるような半球あるいは自由曲面を有する凸型要求形状（金型コアを想定）に対しては、角揺動が適用される。自由曲面形状が凹凸面となっている場合には、

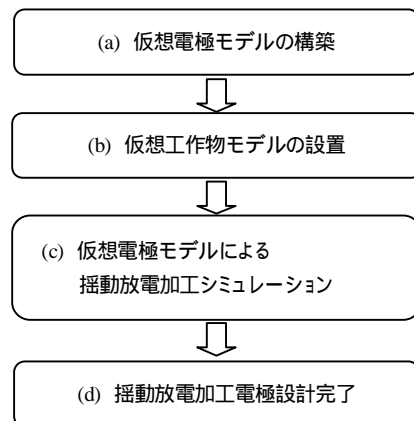
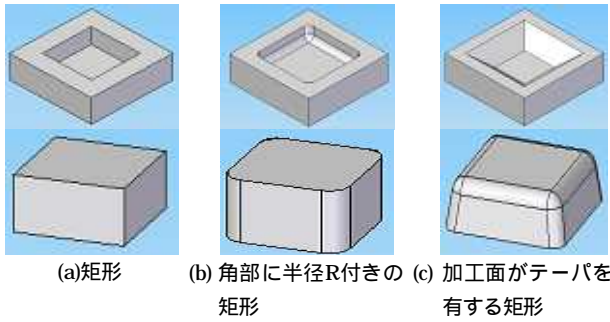


図1 提案した電極設計法の概要



(a)矩形 (b)角部に半径R付きの (c)加工面がテーパを有する矩形

図2 直行する平面を基本として構成される加工形



(a)半球形状 (b)自由曲面形状

図3 曲面形状

加工形状が要求形状に対して誤差を有する場合がある．その誤差量は揺動量に依存するため，加工要求精度を考慮して角揺動量を決定することが必要である．

### 3.3 凸多角形に対する揺動パターン

要求形状が図4に示されるような凸多角形の場合，要求形状が凸型（金型コアを想定）の場合も，凹型（金型キャビティを想定）の場合も，どちらも揺動軌跡は，要求形状である凸多角形の任意の1点を基点とし，凸多角形を $180^\circ$ 回転した形状の相似形とする．

### 3.4 凹角を含む多角形に対する揺動パターン

要求形状が図5に示されるような1つの凹角を含む多角形を有する凸型要求形状（金型コアを想定）の場合は，直線揺動が適用される．揺動軌跡は，凹角を形成する辺を $l_1, l_2$ とすると，辺 $l_1$ と辺 $l_2$ が形成する $180^\circ$ 未満の角度の二等分線上とする．

## 4. 電極設計システムの構築と検証

### 4.1 電極設計システムの構築

提案した手法に基づいて揺動放電加工電極設計システムを構築した．同システムは，要求形状をCADデータとして取得し，同形状を分析して最適揺動パターンを決定する．揺動量はデフォルト値が設定されているが，オペレータが入力することもできる．システムは，要求形状を仮想電極として揺動パターン・揺動量に従って揺動運動させ，その和集合を求め，工作物との差集合を導出して電極形状として導出する．

### 4.2 システムの実行結果と提案手法の検証

#### 4.2.1 電極設計結果

図6(a)は要求形状であるCADデータを示している．同形状は，角部に異なる半径のフィレットを有する矩形の凹凸形状，フィレットを有する円・楕円の凹凸形状の組み合わせで構成されている．同CADデータをシステムに入力した結果，最適揺動パターンとして円揺動が提示された．図6(b)は，システムにより導出された電極形状を示している．

#### 4.2.2 提案方法・システムの検証

構築した電極設計システムにより導出（設計）された電極により指定された揺動パターン・揺動量により揺動放電加工

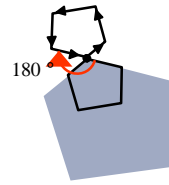


図4 凸多角形の揺動軌跡

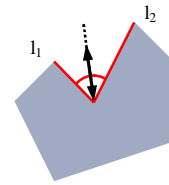
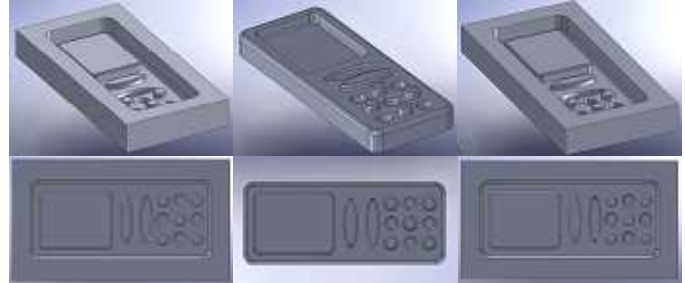


図5 凹角を含む多角形の揺動軌跡



(a)要求形状 (b)電極形状 (c)成形形状

図6 実行結果

を行った場合の成形形状と要求形状の比較を行い，提案手法すなわち構築したシステムの有用性を検証した．この検証において，工作物形状から設計電極形状の揺動運動による和集合の差を求め成形形状とし，その成形形状と要求形状との差集合を加工形状誤差として求めた．

図6(c)は，図6(b)に示す設計電極を揺動運動させたときの和集合から工作物との差集合を求めた形状を示しており，成形形状を表している．同形状と図6(a)に示す要求形状の差集合を加工誤差として求めた結果，誤差がないことが確認され，提案手法の有用性が示された．

## 5. 結言

本研究では，複雑な形状に対しても一つの総型電極により揺動放電加工を可能とする電極の設計法を提案した．要求形状に対する最適揺動パターンについて述べ，提案に基づいて電極設計システムを構築し，提案手法の有用性についてシミュレーションにより確認した．

### 参考文献

- [1] 眞鍋明，葉石雄一郎：形彫放電加工，日刊工業新聞社，(1997)，pp.1-7
- [2] 三菱電機(株)，斉藤長男：放電加工の仕組みと100%活用法，技術評論社，(1985)，pp.22
- [3] 武藤一夫，高松英次：金型設計・加工技術，日刊工業新聞社，(1995)，pp.151
- [4] F.Staelens， J.P.Kruth： A computer integrated machining strategy for planetary EDM， CIRP Ann (Int. Inst. Prod. Eng. Res.)， Vol.38， No.1， (1989)， pp.187-190．
- [5] 吉田弘美：金型加工技術，日刊工業新聞社(1984) pp.81-101
- [6] 田中賢司，林玲実，村崎麻美：揺動放電加工電極モデル生成方法および装置並びにプログラム 特願2005-364564，特開2007-167964．
- [7] G.Wang， Y.Shan： Compensation of electrode orbiting in electrical discharge machining based on non-uniform offsetting， International Journal of Machine Tools & Manufacture， Vol.45， (2005)， pp.1628-1634