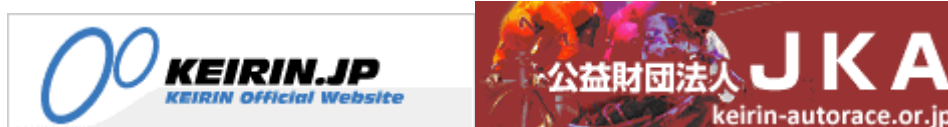


2軸回転軸を付与したワイヤ放電加工による  
精密複雑形状加工

工学院大学 機械理工学科 武沢 英樹

財団法人JKA 2020年度 2軸回転軸を付与したワイ  
ヤおよび形彫り放電加工による精密複雑形状加工  
補助事業 報告書



# 第一章 序論

## 1.1 はじめに

放電加工とは、電極と、ワークの間で短い周期で繰り返すアーク放電を発生させ、その際に発生する熱によって、ワークを熔融させ、除去する加工法である。このような原理から、非接触加工、ワークの硬度に加工精度が影響しない。一回あたりの放電での加工量が微小であるという特徴を持つ。そのため、放電加工は、高硬度材料を用いた金型の仕上げ加工に用いられてきた。しかし、今日の技術の進歩により、切削加工でも高硬度材料の高精度加工に対応した加工機が実現され、放電加工の優位性は、低くなってきている。そのため、放電加工では、近年、放電加工の分野においても、高硬度材料の高精度加工に加えて、新たな、付加価値を付けることによって、他の加工分野の需要への対応が求められている。

## 1.2 放電加工の原理

放電加工とは、電気の微小なエネルギーを極部に集中させて、材料を溶かし、除去する加工法である。毎秒数千から数万回の放電が生じ、放電電流が集中して、中心部では、6000~7000K に達するほどのアーク柱が形成される。そして、熔融、蒸発し、同時に生じる圧力によって、放電屑は、吹きとばされ、工作物に放電痕が残る。次のパルスは、直前の放電点の温度が十分に低下し、絶縁回復したところに印加される。このサイクルを繰り返すことによって電極の形状を転写し、加工がおこなわれる。

放電加工の手順

1. 電極と工作物の間で、90~200V の直流電圧を付加する。十分な極間距離が保たれている間は、無負荷電圧が維持される。
2. 電極と工作物の距離を近づけてくと、間隙のイオン化が始まって、コロナイオンが発生する。そこから、さらに近づけると、電子の移動速度が速くなり、電子の移動速度が速くなり、イオン化が急激に進んで、放電ギャップで火花放電が発生する。
3. 電子雪崩現象よって間隙で放電中が結ばれ、1 $\mu$ s から 2  $\mu$ s の間にアーク電流が流れて、間隙はプラズマ状態になる。法電柱の中心部は、6000~7000K ほどのなり、この熱によって、ワークの放電点部分は、熔融する。
4. 間隙の熔融物が、帰化した加工液のガス圧で飛散し、凝固する。熔融した局側には、凹凸のクレーターが形成される。
5. イオンが消滅することによって、絶縁が回復し次の放電が発生する。

### 1.3 ワイヤ放電加工について

図1に示すワイヤ放電加工は、直径 0.02~0.3mm の黄銅（細径の場合はタングステン）ワイヤを電極として糸鋸盤のように形状を切り抜く加工である。上下ワイヤガイドの相対位置を制御することによってワイヤを傾け、テーパカットや上下異形状加工も行える。細いワイヤに一挙に大電流を流すので、電流の立ち上がりを急峻にするためと、ジュール発熱によるワイヤの断線を防ぐため、ワイヤへの給電は上下2か所の給電子を用いて行われる。また、ワイヤの振動は加工精度を劣化させるので、ワイヤには断線しない程度に張力がかけられる。ワイヤ放電加工によって加工された部分はワイヤ径と放電クリアランス分加工される図2に加工の除去量の簡易図を示す。放電加工は線織面加工のみ可能であり、線織面とは図3のような直線の集合体である。

ワイヤ放電加工の発展として加工経路および諸条件の制御(CNC)と APT による NC データの自動作成、すなわち NC 化による曲線加工の実現、NC データ製作の自動化、そしてテーブル移動用ボールネジのレーザ側長器によるピッチエラー補正に基づく高精度化、ワイヤ自動挿入の信頼向上による無人加工の実現、加工技術としては同時四軸加工によるテーパ加工や線織面による曲面加工、ワイヤ直径よりも狭い形状を得るための嵌合加工などの加工技術の研究がなされ加工精度としてあげられるのは面粗さ、クリアランス、位置決め等研究が多くなされている4)。

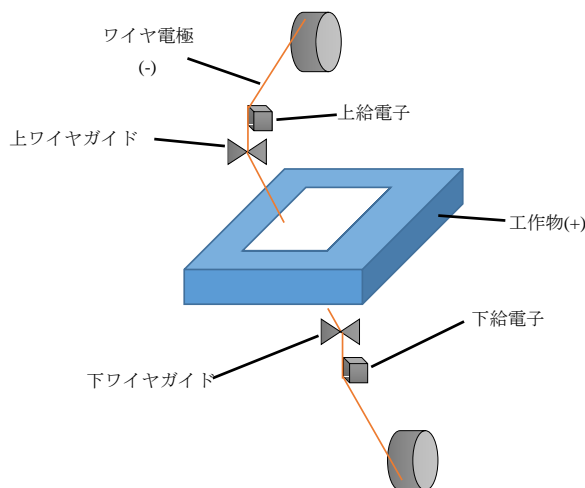


図1 ワイヤ放電加工概要

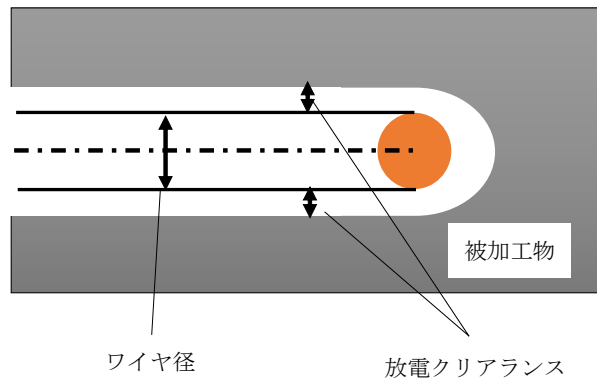


図2 ワイヤ放電加工機による加工簡易図

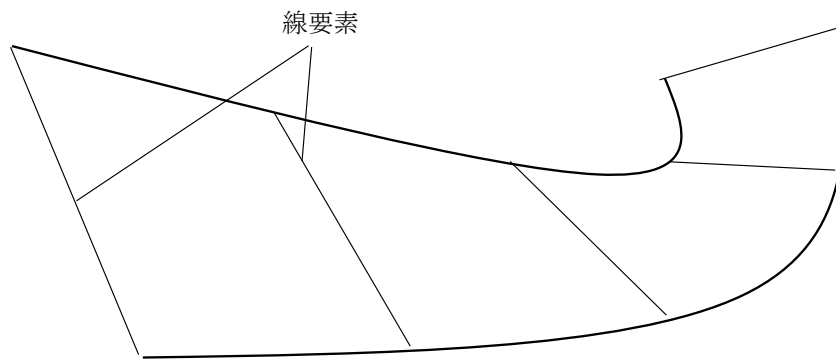


図3 線織面

近年機械加工の代表格である切削加工では、5軸マシニング加工機が一般的になりつつある。5軸マシニング加工機はインペラ形状のような複雑な3次元形状加工が可能である。その複雑な3次元形状加工を加工するために工具干渉を回避した5軸マシニングセンタ用のNCデータの生成やCAD/CAMに関する研究が盛んに行われてきた5)。そのために、複雑な3次元形状加工が可能になっている。一方、抜き金型や各種部品の精密加工に活用されているワイヤ放電加工は、2次元あるいは2.5次元加工が主である。これは、走行するワイヤ電極で、主として板状の工作物を糸鋸状に切断加工するためである。しかしながら、丸棒工作物を回転軸に取り付け走行するワイヤの移動と同期を取りながら回転を付与すれば、スパイラル形状のような3次元加工が可能なのは知られている。更には実際に、回転軸を付与したワイヤ放電加工を想定したNCデータ生成に関する研究も行われている7)。

#### 1.4 研究背景

近年、切削加工において、五軸マシニング加工機が一般的になりつつある。五軸マシニ

ング加工機では、複雑な三次元形状の加工が可能であり、研究も盛んに行われている。その一方、ワイヤ放電加工機は、2から2.5次元の加工が主である。しかし、そこに、丸棒の工作物を回転させる回転軸を付与し、ワイヤの移動と工作物の回転を同時に行えば、三次元形状の加工が可能となる。実際に回転軸付与ワイヤ放電加工機の研究は行われている。しかし、CAD/CAMの精度や作り方、実加工による加工精度の情報について、その多くは、開示されておらず、実用的に利用することが出来ないのが現状である。さらには、2軸回転軸を4軸制御ワイヤ放電加工機に搭載することにより、6軸制御加工が可能となり、従来の4軸加工および他の加工法では実現困難な形状加工が可能になる。

## 1.5 研究目的

前項で述べたようにワイヤ放電加工で複雑形状加工が出来ることが知られてはいるが、CAD/CAMの精度や作り方、実加工による加工精度などの情報については開示されていない。そのため、本件研究では、ワイヤ放電加工機に回転軸を追加し、回転軸の動きを同期させたワイヤ放電加工によるスパイラル溝加工の加工精度、および、加工可能な複雑形状の模索、検討を行う。はじめに4軸制御ワイヤ放電加工機に1軸回転軸を追加した形状加工、続いて2軸回転軸を追加することにより、より複雑な形状加工の実現を目指す。この時、複雑形状加工を実現するにはNCプログラムの生成が重要となり、そのためのCADデータの構築およびそのデータを元にしたCAMソフトによるNCデータの生成を検討する。

## 第二章 1軸回転軸追加によるスパイラル溝加工

### 2.1 円筒工作物外周部へのスパイラル溝形状

はじめに、x-y, u-v軸を駆動する4軸制御ワイヤ放電加工機のNCテーブル側に1軸回転軸を追加した形状加工の加工精度について取り扱う。

加工は、X軸とW軸の動きを同期させることによって、スパイラル溝を加工できるという考えを元に、手入力で座標を指定し、直接、NCを作成する方法とCAMソフトのESPRITを用いる方法の二つのアプローチから、スパイラル溝形状の加工方法を確立した。

加工精度については、必要なオフセット量の考慮、芯出しと外周加工によって、芯振れ精度を $\pm 3\mu\text{m}$ に抑えることによって加工精度を向上させた。図4に加工したスパイラル溝形状を示す。



図4 スパイラル溝形状加工

## 2.2 加工精度を検討する形状について

### 2.2.1 本研究の概要

ワイヤ放電加工では、線織面であれば形状加工が可能であり、回転軸を使ったワイヤ放電加工では、ツイストドリルやインペラといったねじれ面の加工が可能である。これまで、X軸とW軸の二軸を同期させた溝深さ、および溝幅が一定のスパイラル溝の加工とその精度の研究がおこなわれていた。しかし、この二軸に更にY軸の動きを同期させれば、溝深さと溝幅が連続的に変化していくスパイラル溝が加工できる。そこで、X軸とW軸の動きに加え、Y軸の動きを加え、溝深さ、および、溝幅が、連続的に変化していくスパイラル溝の加工を試みる。

### 2.2.2 加工形状の検討

溝深さについては、原点、中心、終点の三地点のみを指定し、XY平面上でその三地点を通る軌跡を考え、ワイヤのその軌跡を辿らせることで形状を変化させていく。そして、この三地点を通る軌跡は、無数にある。今回は、一次関数の直線の軌跡を辿る直線補間と円弧の軌跡を辿らせる円弧補間の二つのパターンで形状が変化するスパイラル形状を作成する。

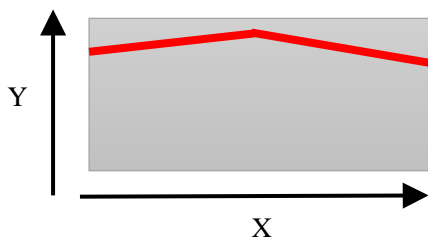


図5 直線補間の軌跡

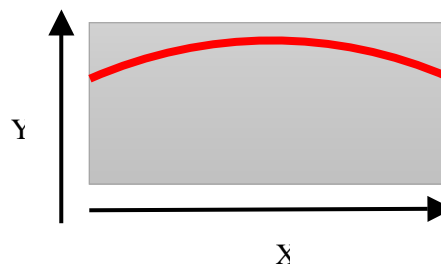


図6 円弧補間の軌跡

## 2.3 使用する回転軸付与ワイヤ放電加工機について

本研究で使用する回転軸付与ワイヤ放電加工機を示す。通常のワイヤ放電加工機（ソディック製：AQ327L）に対して、回転軸 NC ロータリーテーブル（松本機械製：MDHW100L）が XY 平面上で回転するような位置に設置されている。こちらの割り出し精度は 0.001 度である。この回転軸を追加したワイヤ放電加工機（ソディック製：AQ327L）で加工を行った。ワイヤ電極は、 $\phi 0.2\text{mm}$  の黄銅ワイヤを用い、被加工材には  $\phi 40\text{mm}$  のアルミニウム合金（A5052）を用いた。

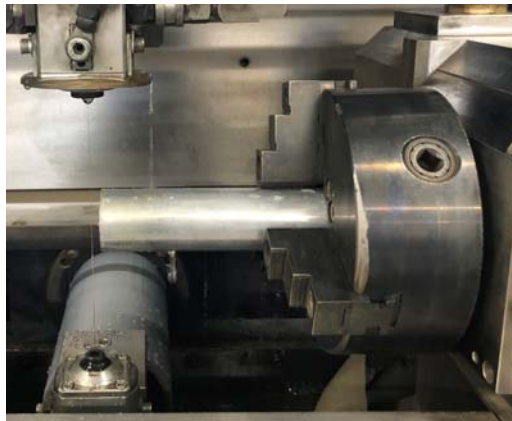


図 7 1 軸回転軸装置

## 2.4 NC データの作成手法

本研究では、G コードと座標を指定し、NC を直接入力する方法と作成した CAD データを CAM ソフトに受け渡し、NC データを作成する方法の二つの方法により、NC データを作成する。

### 2.4.1 直接入力による作成方法

X 軸と Y 軸の送り量と W 軸の回転量を同期させるような NC データをワイヤ放電加工機に直接入力することで、作成する。

- ・ X 軸と W 軸の二軸によるスパイラル溝加工の NC データ

X 軸が 50cm 動く間に、W 軸が  $360^\circ$ 、回転するような NC データで、ピッチ 50mm のスパイラル溝を作成できる。

```
G92 X0.0 W0.0
```

```
G01X50.0 W360.0
```

・ X 軸と W 軸と Y 軸の三軸による XY 平面上で円弧補間の軌跡に従って、形状が連続的に変化していくスパイラル溝の作成方法

G03 のコードにより、XY 平面上でのワイヤが辿る円弧の軌跡に W 軸の回転を同期させることで、形状が連続的に変化していくスパイラル溝を作成できる。

G03 は、円弧補間の命令で、G03 [終点の座標][円弧の半径]といった形式で入力することで、原点と終点の座標と円弧の半径で定められる円弧の軌跡に従って、ワイヤ電極が移動する NC となる。

下記に円弧補間の NC データの一例を示す。この NC データは、ワイヤ電極が弦長 50mm、矢高 2mm の円弧の軌跡を辿る間に W 軸が 360° 回転する NC データとなっている。この NC データは、ピッチ 50mm で X 軸上の中心での溝深さが、原点での溝深さに比べて、2mm 浅くなり、終点で、再び、原点と同じ溝深さに戻っていくような、スパイラル溝形状を作成する。

```
G92 X0.0Y0.0W0.0
```

```
G03 X50.0 W360.0 CR157.25
```

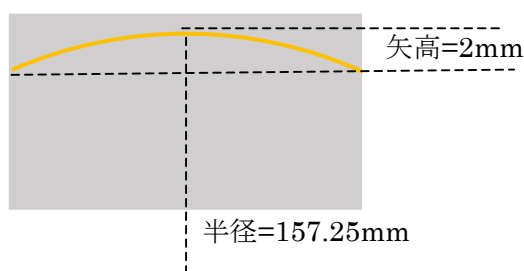


図 8 円弧補間の軌跡

・ X 軸と W 軸と Y 軸の三軸による XY 平面上で直線補間の軌跡に従って、形状が連続的に変化していくスパイラル溝の作成方法

XY 平面上でのワイヤが辿る直線の軌跡に W 軸の回転を同期させるような NC を作成する。下図に NC データの一部を示す。

この NC データは、X 軸が原点から 25mm 動く間に、Y 軸が 2mm、W 軸が 180°、X 軸が 25mm から 50mm に動く間に、Y 軸が-2mm、W 軸がさらに、180°、回転するような NC データで、ピッチ 50mm で X 軸上の中心での溝深さが、原点での溝深さに比べて、2mm 浅くなり、終点で、再び、原点と同じ溝深さに戻っていくような、スパイラル溝形状を作成できる。



G92 X0.0Y0.0W0.0

G01 X25.0 Y2.0 W180.0

G01 X50.0 Y0.0 W360.0

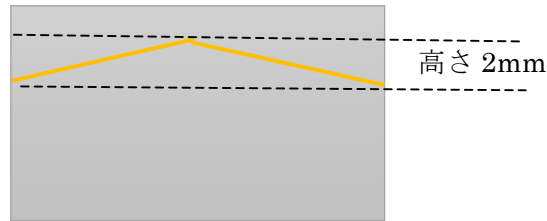


図9 直線補間の軌跡

#### 2.4.2CAM を使用した生成方法

本研究では、CAM ソフトに ESPRIT(DP テクノロジー製)を使用する。このソフトは、回転軸付きのワイヤ放電加工にも対応している。ESPRIT に SOLIDWORKS で作成した CAD データを読み込ませ、加工の設定を入力することで、NC データを作成する。

作成方法自体は、従来の方法と同様に、スプラインに対して、切込量を再現するスケッチをスイープカットさせることによって、スパイラル溝を作成する。しかし、辿らせるスプラインの形状について、XY 軸上での円弧補間の軌跡を考慮した形状にする必要がある。そのようなスプラインを、今回は、3d スケッチの関係式駆動カーブの機能を使い、関数で作成する。

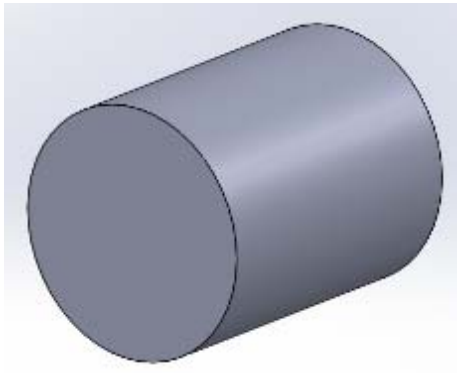
### 2.5 CAD によるスパイラル溝形状の作成方法

#### 2.5.1 作成する形状について

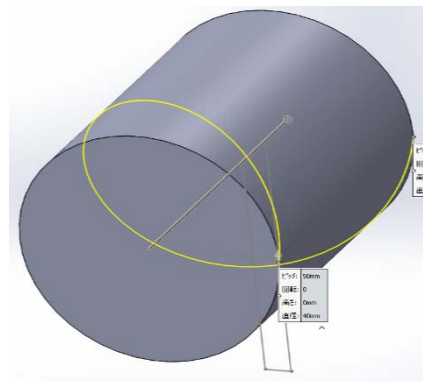
設計値の確認と NC データ作成をするために、溝深さと溝幅が連続的に変化していくスパイラル形状の CAD を作成する。先行研究で、溝が変化しないスパイラル溝計上の設計はできているため、その方法を基に CAD の生成方法を検討する。CAD は SOLIDWORKS を使い、本研究では、 $\phi 40\text{mm}$ 、初期点切込量、中心切込量 2mm、終点切込量をそれぞれ、指定し、ピッチ 50mm で切込量が連続的にスパイラル溝形状の設計を行う。

#### 2.5.2 形状が変化しないスパイラル溝の作成方法

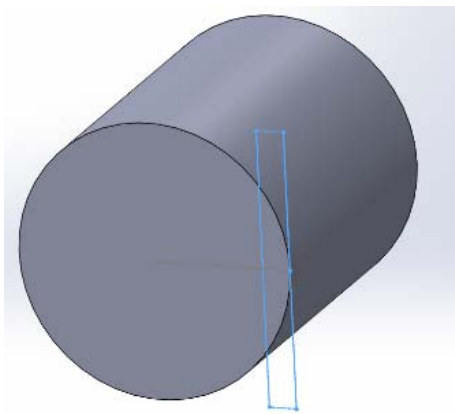
長さ 50mm 径 40mm の丸棒を作成する。この丸棒の外周に対して、直径 40mm、ピッチ 50mm のスプラインを這わせる。丸棒の断面に断面に対して、垂直で、横幅が想定する切込量に等しい対面を作成する。そして、対面がスプラインに沿うような、スイープカットを行うことによって、スパイラル溝を設計できる。



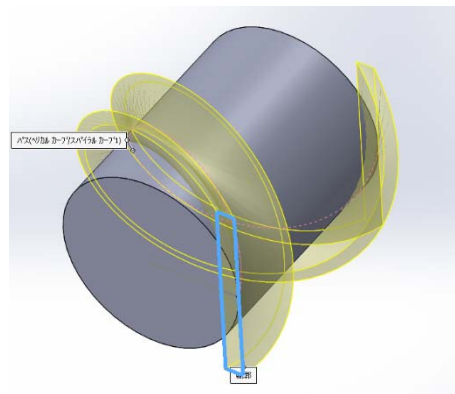
長さ 50mm 径 40mm の丸棒を作成する。



ピッチ 50mm, 半径 20mm, 360°  
のスパラインを作成する。



横幅が切込量に相当し、高さ  
40mm の垂直な平面を作成する。



輪郭を平面、パスをスパラインと  
して、スイープカットする。

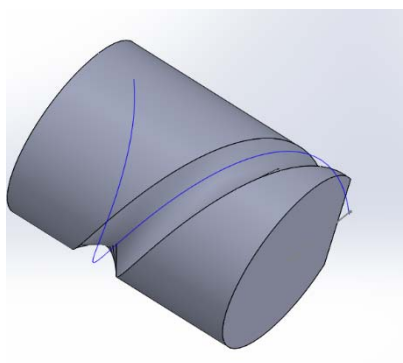


図 1 0 CAD によるスパイラル形状の作成方

### 2.5.3 X 軸と W 軸と Y 軸の三軸による XY 平面上で円弧補間の軌跡に従って、

形状が連続的に変化していくスパイラル溝の CAD の作成方法

CAD の作成方法について、手順は、上記の溝の形状が変化しないスパイラル溝と同じだが、スプラインの作成の仕方を変える必要がある。通常のスプラインは、半径が一定である。しかし、こちらで作成するスプラインは、円弧補間の軌跡をスプラインに同期させるようにするため、スプラインを関係式で定義する..

スプラインの関数の式について。

従来の溝深さが 4mm で一定である場合の式を表現するなら

$$0 < \theta < 2\pi$$

$$R=40$$

$$Z=(50/\pi)*\theta$$

で表現することが出来る。この式に更に円弧補間の軌跡を考慮するなら、上記の式に対して、原点と終点を結んでできる円弧の任意位置での矢高を足し合わせる形で表現することが出来る。X 軸上でのワークの加工開始地点を原点として、そこから任意地点での這わせるスプラインの半径の式を下記に示す。

$$R=40 + \sqrt{\left(\left(\frac{p^2+4t^2}{8t}\right)^2 - \left(\frac{p \cdot \theta}{2\pi} + \frac{p}{2}\right)^2\right)} - \sqrt{\left(\left(\frac{p^2+4t^2}{8t}\right)^2 - \left(\frac{p}{2}\right)^2\right)}$$

一例として、ピッチ 50mm 径 40mm のスプラインに対し、矢高 2mm、弦長 50mm の円弧の軌跡を考慮したスプラインの作成方法を示す。

$$0 < t < 2\pi$$

$$X=(25/\pi)*t \quad R=(24-(2/\pi)*t)$$

### 2.5.4 X 軸と W 軸と Y 軸の三軸による XY 平面上で直線補間の軌跡に従って、形状が連続的に変化していくスパイラル溝の cad の作成方法

こちらも円弧補間スプラインと同様に、作成するスプラインに対して、直線補間の軌跡を考慮する必要がある。しかし、直線補間のスプラインの半径の変化量は、一定であるため、作成するスプラインの中心の径を変えることによって作成できる。しかし、問題点として、この方法で作成した場合、中心部分に歪みが生じる場合がある。

## 2.6 形状計測について

測定は、先行研究に倣い、3次元測定機キーエンス製のVR3200ワンショット測定機にて、溝形状の測定を行う。この測定機は、測定可能高さが、 $\pm 5\text{mm}$ であるため、本研究では、この範囲内におさまる深さの溝を作成する。

## 2.7 測定方法の検討

測定場所は、スパイラル溝の溝深さと溝幅を測定する。溝深さについて、測定部分のエッジに対して、溝が最も深くなっている点で測定を行う。溝幅については、測定部分のエッジに対して、両端が垂直に交わるエッジ間で測定を行う。また、この加工では、位置によって溝深さと溝幅が異なるため、複数の地点で測定を行い、各値の変化量を見る。また、正確な位置で測定を行うために作成した、加工物に対して、ワイヤ放電加工により、x軸上での、各位置で切込みを入れ、その切込みをメモリとして、測定位置を測る。

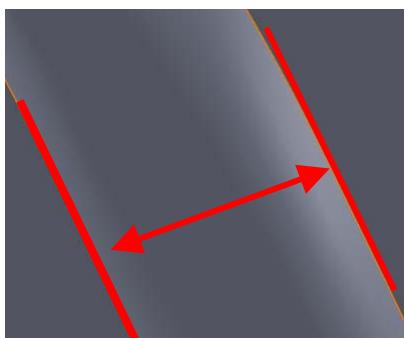


図 1 1 溝幅の測定位置

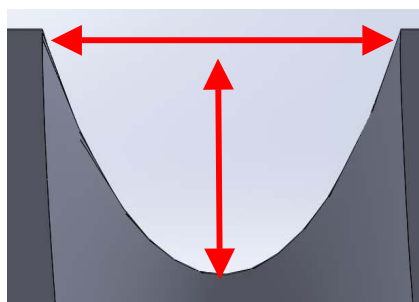


図 1 2 溝深さの測定位置

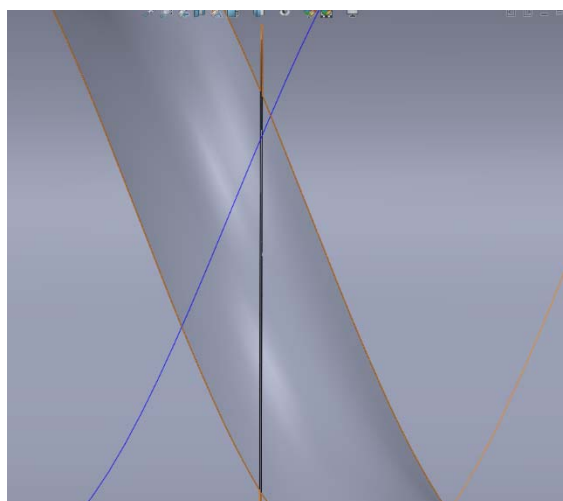


図 1 3 測定ライン

## 2.8 加工条件

本研究の放電条件は表 1 に示した条件で統一し、1st カットのみのみで行った。

表 1 放電条件

ワイヤ電極径	パルス幅	放電休止時間
0.2mm	1.5 $\mu$ s	10 $\mu$ s
放電電流	サーボ電圧	ワイヤ張力
80A	40V	12N

## 2.9 各部位における溝深さ測定結果

2 種類の NC データによる各部位における溝深さの比較を表 2 に示す。

表 2 溝深さ変更スパイラル加工における溝深さ実測値

X 軸位置	設計値	直接入力 NC	ESPRIT NC
10mm	2.718	2.620	2.843
20mm	2.079	2.144	2.199
25mm	2.000	2.032	2.120
30mm	2.079	2.075	2.199
40mm	2.718	2.738	2.831

ほぼすべてのデータで初期切込量のずれにより誤差が出ていたが、溝深さについては位置ごとの変化量を見ることにより、一定区間での変化量は、ミクロン単位で正確であることが確認できた。しかし、この溝深さのずれについて、単純に初期切り込み量のミスの可能性もあるが、直接入力 NC 同士と ESPRITNC 同士で溝深さの誤差が数  $\mu$  以内で一致することから、放電クリアランスや、放電反力による誤差が生じている可能性も考えられる。

どちらの NC データとも溝深さが中央部で最も浅くなり、両端ではして溝深さを狙った加工ができていないが、ミクロンオーダーでの形状精度を実現するためには、初期切り込み量の設定、および放電クリアランスの設定をオフセットとして指定する必要がある。溝深さ一定のスパイラル溝加工と比較すると、加工精度の傾向は一致しており、ワイヤラグの発生も検討が必要である。

## 第三章 2 軸回転軸追加によるスパイラル溝加工

### 3.1 円筒工作物外周部への 2 軸回転軸制御スパイラル溝形状

前章の 1 軸回転軸形状加工の結果と比較するため、2 軸回転軸を付与したワイヤ放電加工の加工対象として、溝深さが変化するスパイラル溝形状加工を目指した。前章では x 軸および W 軸が定常駆動しているときに y 軸を変化させることにより溝深さを変化させる形

状加工であった。それに対して、回転軸とチルト軸が一体化した2軸回転軸を用いた加工では、x軸とW軸（回転軸）およびUU軸（チルト軸）を全て定常駆動させて溝深さが徐々に浅くなるスパイラル溝形状加工を目指した。まずは、3次元CADを用いた形状設計を試みた。2.5節と同様に円筒形状を定義した後、端面からスイープカットする軸を定義する。この時、円弧補間および直線補間によりスイープカット軸を水平軸よりずらすことで溝深さが変化するスプライン形状を作製した。図14に、設計したCAD形状を示す。全長50mm、直径40mm、スパイラル溝のスパンも50mmである。

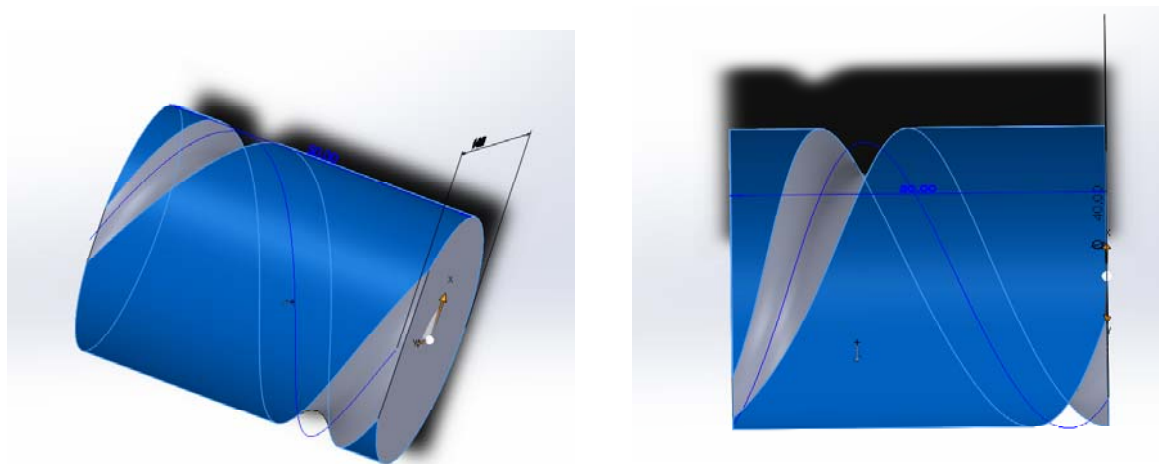


図14 2軸回転軸付与加工用 スパイラル溝CAD設計

右端の加工開始点では、溝深さが深く溝幅も広がっているが、加工終点部の左端では溝深さが浅く、溝幅も小さく設計されていることがわかる。

### 3.2 追加した2軸回転軸機構

追加した2軸回転軸は松本機械製SAT100-22である。2軸の諸特性を表3にまとめる。割り出し精度として、回転軸60秒以内、傾斜軸（チルト軸）90秒以内の高精度タイプとなっている。

表3 2軸回転軸諸特性

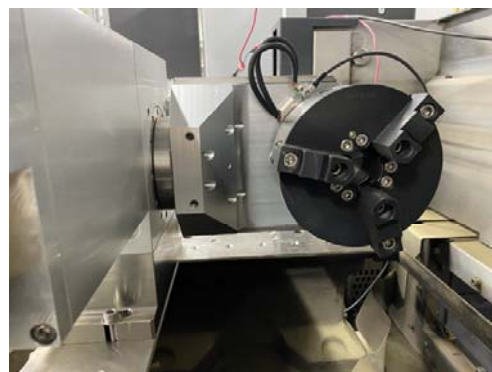
		回転軸	傾斜軸
15	減速比	1/60	1/60
16	ウォームホイール歯数	N	60
17	最高回転数	8.3	5.5
	(モータ回転数)	500	330
18	最小設定単位	0.001	0.001
	Degree		
19	割出精度	60	90
	Sec		
20	再現精度	±3	±4
	Sec		
21	許容ワークイナーシャ	0.021	0.267
	kgm <sup>2</sup>		

過去に設置していた1軸回転軸の割り出し精度は14秒以内であったため、2軸仕様となったためか、それよりは精度が落ちていることがわかる。

実際にワイヤ放電加工機NCテーブル上に設置した状態を下記に示す。左勝手仕様であり、こちらも過去の1軸回転軸（右勝手）とは異なっている。



上部より



側面より（チャック部）



ワーク加工状態



スパイラル加工後

図15 2軸回転軸 各方向からの設置状況

図15には直径40mmのアルミ合金をチャックに保持し、スパイラル溝加工を行った後の状況である。突き出し量200mm程度までは設置できることがわかる。

### 3.3 2軸回転軸を駆動したスパイラル溝加工

チルト軸も駆動させた溝深さが単調に減少するスパイラル溝加工を実施した。加工条件は1軸回転軸付与加工で行った条件と同等である。表4に示す。

表4 2軸回転軸付与加工における初期放電条件

ワイヤ電極径	パルス幅	放電休止時間
0.2mm	1.5 $\mu$ s	10 $\mu$ s
放電電流	サーボ電圧	ワイヤ張力
80A	40V	12N



ところが、全く同じ被加工材を加工したにもかかわらず、ワイヤ断線が頻出した。オシロスコープを用いた放電電圧および放電電流波形の観察を行ったところ、ピーク電流値が設定よりも低く観察され、集中放電も多く見受けられた。2軸回転軸とワイヤ放電加工機の加工電源の接続に問題があることも考えられた。ただし、まずは形状加工を急ぎ行うことを目的に、ワイヤ断線の発生しない放電条件の見直しをすすめた。その結果、設定パルス幅を短く、設定休止時間を長くすることで安定した加工が持続できた（表5参照）。しかしながら、上記設定では、従来加工に比較して加工時間が2倍程度以上かかることがわかり、本質的には加工電源回路のチェックが必要になると考えられる。

表5 2軸回転軸加工における修正した放電条件

ワイヤ電極径	パルス幅	放電休止時間
0.2mm	1.0 $\mu$ s	20 $\mu$ s
放電電流	サーボ電圧	ワイヤ張力
80A	40V	12N

### 3.4 実加工サンプルと溝形状測定結果

下記にx軸、W軸（回転軸）およびUU軸（チルト軸）を同時に定常移動させたスパイラル溝加工サンプルを図16に示す。加工初期の溝深さを4mmとして加工を開始した。写真右側から左側に向かってワイヤは走行している。加工NCはまずは直接入力したものである。

G92 X0.0Y0.0W0.0 UU0.0

G01 X50.0 Y0.0 W360.0 UU10.0



図16 溝深さ変化スパイラル溝加工サンプル



上記サンプルの溝形状を，前半部，中間部，後半部の3カ所をキーエンス製ワンショット形状測定装置を用いて3次元データとして取り込み，溝深さ，溝幅の計測を実施した．図17に計測結果を示す．加工開始点からx座標で10mm，25mm，40mmの地点の計測結果である．溝深さはそれぞれ4.144mm，4.302mm，3.951mmと徐々に溝深さが浅くなって加工され，狙った形状変化をしていることがわかる．本来であればCAD設計値との比較検討が必要であるが，CADデータを用いてCAMソフト（ESPRIT）にてNCデータを出力するにあたり，ポストプロセッサが2軸回転軸仕様に対応完了していないことが判明した．ポストの改良はメーカ対応であり，少なからずの時間を要する．この事例からも，2軸回転軸付与ワイヤ放電加工がまだ一般化された加工法ではないことがわかる．NCプログラム自体が生成されれば実加工が可能なのはわかったため，NCデータ出力の検討が今後の課題として残る．

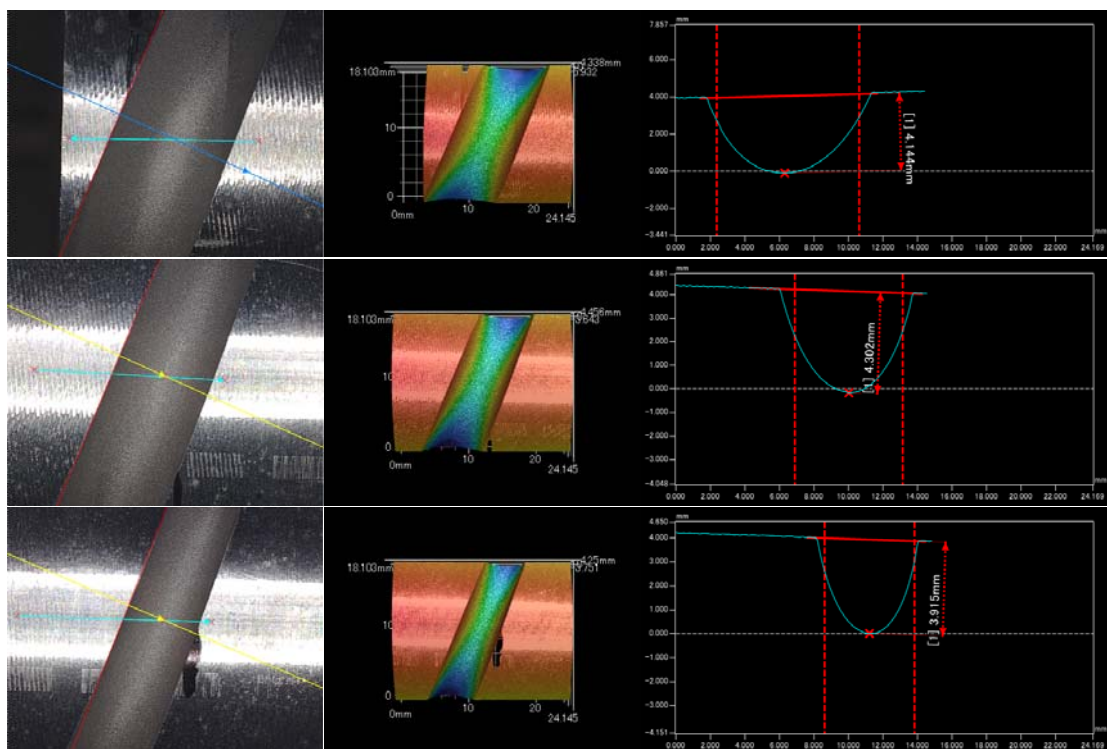


図17 2軸回転軸付与スパイラル加工の3次元測定結果

## 第四章 まとめ

2軸回転軸を追加したワイヤ放電加工機において，両回転軸を駆動させた形状加工を行い以下のことが明らかとなった．

- 1) x 軸, W 軸 (回転軸), UU 軸 (チルト軸) の 3 軸を同時に定常駆動させた溝深さ変化するスパイラル溝加工が可能なことを確認した。放電条件を適切に設定すれば安定的な加工が可能である。
- 2) 被加工材の材質や寸法で推奨される放電条件では, 2 軸回転軸付与加工ではワイヤ断線が頻出した。1 軸回転軸では発生しなかった問題であるため, 2 軸回転軸の放電電源回路の不具合など検討が必要である。
- 3) 3 次元 CAD を用いた形状設計データを CAM ソフト (ESPRIT) に渡して生成する NC データにおいて, 加工シミュレーション時にエラーが発生し, 実加工においては長さ方向の一部までしか加工できないことがあった。2 軸回転軸対応のポストプロセッサの問題なのかも含めた仕様の確認が必要である。
- 4) 2 軸回転軸自体の大きさが大きくなったことによる, ワイヤガイド間隔が長くなることにより, 複雑形状加工時のワイヤラグの影響が 1 軸回転軸付与加工に比較して大きくなることが予想される。2 軸回転軸を含めた 3 軸駆動加工および最大 6 軸駆動加工におけるワイヤラグの影響調査が必要である。

