

ワイヤ放電加工による工作実習

長坂 明彦*・和田 一秀*・伊藤 充*・羽賀 文夫**
小林 茂夫**・関 廣治**・深井 郁夫**・三尾 敦**

Effect of Wire Electric Discharge Machining on Practice of Manufacturing Processes

Akihiko NAGASAKA, Kazuhide WADA, Mitsuru ITO, Fumio HAGA,
Shigeo KOBAYASHI, Hiroji SEKI, Ikuo FUKAI and Atsushi MIO

The effect of Wire Electric Discharge Machine (WEDM) on practice of manufacturing processes was investigated. A wide-angle tapered machining of WEDM can be achieved with great accuracy (10° for workpiece 100mm thick). At Nagano National College of Technology courses on engineering practice are important in the education of skilled engineers. Many graduates of the department of mechanical engineering are involved in the fields of design, development and production, so it is very important for them to have manufacturing experience. In the lower grades they learn fundamental methods of making things, and in the upper grades they advance to higher levels of processing or applied practice. In fact, in the 4th grade they can easily bring a Numerical Control (NC) language to completion and are training on WEDM for 6 hours. The workshop was equipped for education in mechatronics with WEDM, CNC and Machining Center (MC) to match the highly developed and complex technology today.

キーワード：ワイヤ放電加工，数値制御，テーパ加工

1. はじめに

本校の実習工場において、ワイヤ放電加工機（WEDM）による機械工学科・工作実習が開設され、1995年度（平成7年度）の機械工学科3年と本年度（平成9年度）の機械工学科4年で2年目を迎えた。また、WEDMは1993年度（平成5年度）に導入され、1994年度（平成6年度）から公開講座・中学生のための「ものづくり」体験実習をWEDMを利用して開催してきた¹⁾。本年度で公開講座は4年目を迎え、延べ56人が受講した。さらに、（財）素形材センター主催の第3回「ものづくり」コンテストにWEDM支援による作品を出品した。それぞれの取組みを通してWEDMの効果について検討した。

2. WEDMの取組み

2-1 工作実習

機械工学科4年の工作実習では、2h×3週の6hでWEDMのショップを学習する。ショップは4～5人で行い、最初の2h（第1週）は数値制御（NC: Numerical

Control) プログラムの説明とプログラム作成を修得する。G01（直線補間）、G02およびG03（円弧補間）、A（テーパ加工）などについてである。第2週、第3週の4hで課題の加工を実施する。プログラム入力と加工段取り（端面位置出し、テーパ設定）に2人ずつに分散して実習する。プログラムデバッグとしてドライランによりボールペン書きを併せて行う。加工物はみかきSS400（75mm×250mm×12mm）を使用し、加工時間は約60分である。また加工は多数個取りしている。以下にWEDM工作実習資料の一部を示す。

-----WEDM工作実習資料-----

(1) ワイヤカット加工

ワイヤ放電加工とは直径0.1mm～0.3mmの細いワイヤ電極線（主に真ちゅう）を用い、加工物を2次元形状にくり抜いていく加工で、一般の機械加工とは異なり、電気的な放電現象を利用しています。ワイヤ電極線と加工物との間に電圧をかけて（通常、ワイヤ電極線が－、加工物が＋）その間

* 機械工学科

** 学生課実習係

原稿受付 1997年10月31日

に微小な放電を繰返し起こさせ、加工物を少しずつ溶かしながら加工を進めていきます。

- ・通電性の有る金属ならどんな硬いものでも加工することができる。
 - ・複雑形状のものでも簡単に加工することができる。
- と言った特徴があり、最近では制御装置および、機械部の改良により加工精度や加工速度が飛躍的に向上し、精密金型、部品加工への分野にも多く使われます。

(2) 機械操作手順

- ① 電源投入（システムのローディング、機械原点の設定）
- ② プログラムの作成（入力、編集、描画、保存、呼び出し）
- ③ ワイヤの垂直出し
- ④ 加工物（ワーク）の取り付け
- ⑤ テーパー加工の設定入力（プログラムにより入力）
- ⑥ 位置決め
- ⑦ ドライランチェック（プログラムの確認）
- ⑧ 加工（プログラムの実行）

使用したワイヤおよび加工物について示す。

ワイヤ材質：黄銅
 ワイヤ直径：0.2mm
 加工物の材質：SS400
 板 厚：12mm

(4) ワークの取付け

垂直出しをして、平行にワークを取り付けた。また、ワーク電極間の干渉防止のため、開放加工とした。

(5) プログラム入力

汎用工作機械では、人がハンドルを操作し、テーブルを移動しますが、NC工作機械では、人の代わりにコンピュータがモータに信号を送り、テーブルを動かして加工を進めていきます。但し、その為には予め、動き方を機械に指令しておかなければなりません。機械に動き方を指令する命令文を、NCプログラムと言います。NCプログラムは、人が普段使用する言語ではなく、機械言語と座標値によって構成されます。この機械専用の言語をNCコードと言います。今回の機械で使用しているNCコードを大別すると以下の通りになります。

Gコード → 機械の基本動作指令及び座標に関する指令

Mコード → 補助機能

Tコード → 機械部スイッチのON・OFF指令

Cコード → 加工条件の呼び出し

Hコード → 補正量（オフセット量）の指令

その他のコード → A（テーパー角度）

R（コーナーR機能）

RX, RY（図形回転角度）

Cコード（加工条件を選択するコードでアドレスCに3桁以内の数字を入力

I, Jについて

I, Jとは、円を描く時にNCに指令（プログラム）を与える変数である。

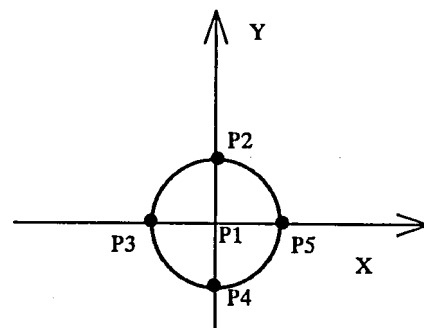
円を描くプログラムには、

G02（時計回り）、G03（反時計回り）、X, Y, I, Jの記号が必要になる。

【注意】 ※ 円弧が円（360°）になる場合は2回に分けて（1回180°）描く。
 ※ 180°以上でも360°未満場合は1回で描く。

【プログラム例】 P1→P2→円（一周）→P2
 →P1のプログラムを作る。（図1）

```
G92      X0      Y0 ;
G01      Y20.0 ;
G03      Y-20.0 I 0 J20.0 ;
          Y20.0 I 0 J20.0 ;
G01      X0      Y0 ;
```



P1=(0,0)=X0 Y0
 P2=(0,20)=X0 Y20
 P3=(-20,0)=X-20.0 Y0
 P4=(0,-20)=X0 Y-20.0
 P5=(20,0)=X20.0 Y0

図1 軌跡例・座標

- メインプログラムには、
- イ、プログラムの内容が、絶対座標系か、増分座標系か (G90か、G91か)
 - ロ、座標系は 通常はG54
 - ハ、スタート点の設定
 - ニ、スタート点の記憶 (NCに記憶させる)
 - ホ、水加工か、油加工か、水浸漬加工か (T89か、T88か、T94か)
 - ヘ、高圧噴流させるか (水で) T84
 - ト、テーパ加工方と角度
 - チ、オフセットの方向とアプローチのオフセット量
 - リ、オフセット量
 - ヌ、サブプログラムの呼び出し
 - ル、メインプログラムの終了 (M02)

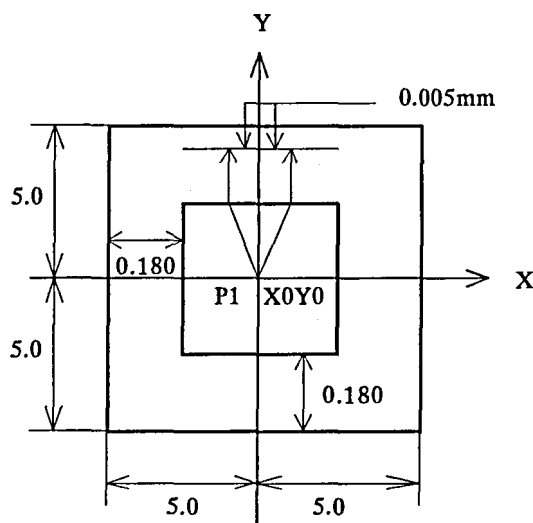


図2 オフセット量と加工軌跡の関係

- サブプログラムには、
- イ、テーパ加工ならば、テーパの角度
 - ロ、図形のプログラム、(アプローチの入力部は、除く)
 - ハ、アプローチのアウト部及びテーパ加工の角度、オフセット量のキャンセルとなります。
- 等の内容が必要になります。

10.0×10.0の(図2)を例としてプログラムを作成すると、

```

N0001
  A0.5 G01 X-5.0 (Y5.0)
    (X-5.0) Y-5.0
    X5.0 (Y5.0)
    (X5.0) Y5.0
    X0 (Y5.0)
  A0 G50,0 H005
  G40 G01 X0 Y0
  M99
    
```

となります。()内のワードは、省略できます。

- A0.5----- テーパーの角度
- G50----- テーパー キャンセル
- G40----- オフセット キャンセル
- G01----- 直線加工
- M99----- サブプログラムの終了
 メインプログラムに戻れと
 いうことです。

従って、実際の加工プログラムは、メインプログラムとサブプログラムの組合せになります。

課題

図3の形状のパンチ加工用プログラムを作る。

右回り、左回りのサブプログラムを作る。

スタート (SP) 点 : (-2, 15)

終点 : (2, 7)

使用ワイヤ径 : $\phi 0.2$

テーパ角度 : 太線部は、上広がり 1°

加工条件 : C410→C611→C641

オフセット : H180→H113→H108

指示なきコーナー部には、R0.2を入れること。

太線部以外は、ストレートに加工すること。

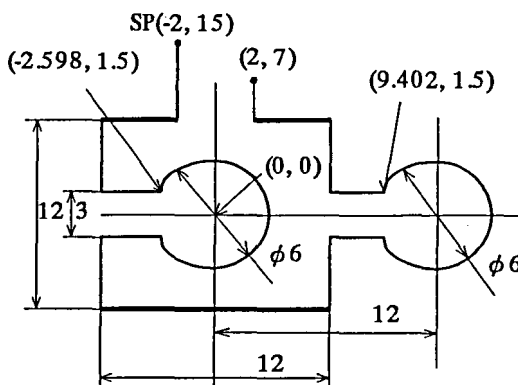


図3 課題加工軌跡

<課題プログラム例>

```

N4123;
G90;
G54;
G92 X-2.0 Y15.0 Z0;
G29;
T94;
    
```

T84;
G51 A0 G42 H005 C410G01 Y6.0;
H180 M98 P0001;

T85;
G52 A0 G41 H005 C611G01 Y6.0;
H113 M98 P0002;

G51 A0 G42 H005 C641G01 Y6.0;
H108 M98 P0001;

M00;
C410;
G01 X-2.0 Y7.0;
T85;
M02;

N0001;
G01 X-2.0 Y6.0;
A1.0 G01 X-6.0 R0.2;
A0 Y1.5 R0.2;
X-2.598 R0.2;
G02 Y-1.5 I2.598 J-1.5 R0.2;
G01 X-6.0 R0.2;
Y-6.0 R0.2;
A1.0 X6.0 R0.2;
A0 Y-1.5 R0.2;
X9.402 R0.2;
G03 Y1.5 I3.0 J1.5 R0.2;
G01 X6.0 R0.2;
Y6.0 R0.2;
A1.0 X2.0 R0.2;
A0 G50 H005 G40 G01 Y7.0;
M99;

N0002;
G01 X2.0 Y6.0 R0.2;
A1.0 X6.0 R0.2;
A0 Y1.5 R0.2;
X9.402 R0.2;
G02 Y-1.5 I3.0 J-1.5 R0.2;
G01 X6.0 R0.2;
Y-6.0 R0.2;
Y-6.0 R0.2;
A1.0 X-6.0 R0.2;
A0 Y-1.5 R0.2;
X-2.598 R0.2;
G03 Y1.5 I2.598 J1.5 R0.2;
G01 X-6.0 R0.2;
Y6.0 R0.2;

A1.0 X-2.0 R0.2;
A0 G50 H005 G40 G01 Y7.0;
M99;

3. 公開講座について

1994年度(平成6年度)から公開講座・中学生のための「ものづくり」体験実習を開催してきた¹⁾。本年度で夏休み中の公開講座は4年目を迎え、延べ56人(内女子10人)が受講した。(表1)

コース2Aは自作のデザイン・イラストを加工したブックスタンド等の作品を製作する。WEDMについてわかりやすく解説したあと、自作のデザイン・イラストから座標値を読み取り、NCプログラムを作成し、ワイヤカット加工、仕上げ加工、折曲げ加工を経て完成するまでの全工程の体験実習ができるコースである。

コース2Bはデザイン・イラストが加工されたブックスタンド等の作品を製作する。WEDMについてわかりやすく解説したあと、実際の加工を見学し、既存のデザイン・イラストをワイヤカット加工した材料から、仕上げ加工、折曲げ加工を経て完成するまでの工程(コース2Aの後半の工程)の体験実習ができるコースである。

受講生の熱心な取組みを通して、受講人数の多少に限らず今後のWEDM継続の必要性を痛感した。なお、本年度は機械工学科4年生1人にWEDM支援をお願いした。

表1 WEDM受講人数

年度	コース2A	コース2B	計
平成6年度	—	26 (6)	26 (6)
平成7年度	6	2	8
平成8年度	6	6 (3)	12 (3)
平成9年度	3	7 (1)	10 (1)
計	15	41 (10)	56 (10)

() は女子の参加人数

4. 「ものづくり」コンテストについて

平成9年度11月26～29日に「97新素材フェア」がパシフィコ横浜で行われた。その会場内で(財)素材センター主催の第3回「ものづくり」コンテストの短大・高専・専門学校部門に「長野

1998』という題材で出品した。(図4, 5, 6と表2) 製作者は北條智彦・坂内豊両君(機械工学科4年)で、約3か月の期間を擁した。結果として「佳作」を受賞した。以下にその取組みを示す。

WEDM (SM-300, (株) ソディック) を使い、地図形状をデジタイザから座標値を読み取り(図4), NCプログラムを作成し、ワイヤカット加工経て完成する。特に今回はテーパ加工を取り入れた。テーパ加工をするにあたっては基準面をアルミ板の上の面にするか下の面にするか、テーパを右に付けるか左に付けるかを確かめるために形状のシンプルな正方形でサンプルを作った。(図5) サンプルは、アルミ板の下の面の一辺が20mmで下広がりのもので、試作の結果、上の面を基準にしてテーパを進行方向に対して右に付けて時計方向(CW)に加工していく事に決定した。以上の取組みにより下記の第3回「ものづくり」コンテスト作品応募票により作品の説明とする。

市販のアルミニウム厚板(板厚5, 8mm)を用いて、1998年長野冬季オリンピックパズルを作製しました。ワイヤ放電加工法により、デジタイザからパソコン処理した地図座標データをテーパ加工(テーパ角度: 10度)で一つずつくりぬいてあります。テーパ加工を施した板厚8mmのアルミ板はオリンピック競技開催市町村(長野市, 軽井沢町, 山ノ内町, 白馬村, 野沢温泉村), 垂直加工の板厚5mmはその他隣接の市町村をそれぞれ意味し、さらに競技開催地はショットピーニングにより梨地仕上げしてあります。以上より、パズル感覚でオリンピック会場捜しが楽しめ、それぞれペーパーウェイトやマグネットホルダーとしても利用できます。

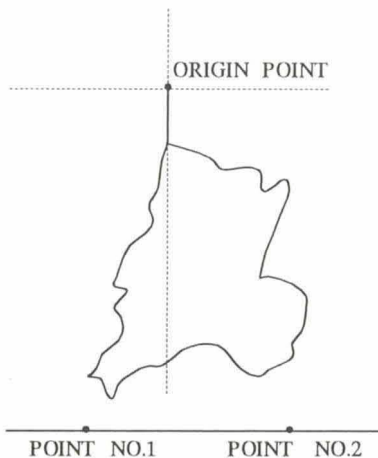


図4 デジタイザでの地図データ取込み

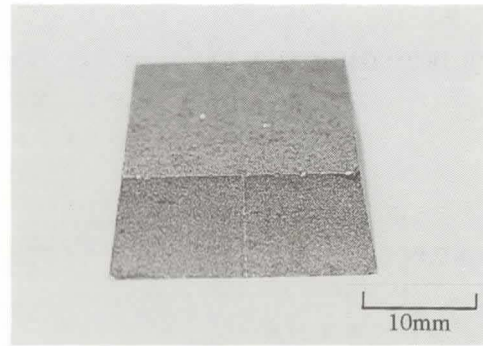


図5 正方形サンプルの外観



図6 出品作品「長野1998」の外観

<プログラム例(長野市:テーパ加工)>

```

(NAGANO.NC);          シークエンスナンバー

G54;                  G54系
G90                   絶対座標系
G92 X0 Y0;           スタート点の設定
C890;                加工条件呼びだし
T84;                 高压噴流開始

G52 A0 G41 H010 C200 G01 Y-7.0;
進行方向に対して右にテーパ0° 付けて加工
H130 M98 P0001;     オフセット量の設定サブプログラム呼び出し
G00 Y10.0;          Y10.0まで早送り
T85;                 高压噴流停止
T83;                 廃水開始
M02;                 プログラムストップ
N0001;              サブプログラム開始
A10.0 G01 X1.305 Y-7.134;
テーパ10° で直線加工
X1.305 Y-7.134;
.
.
.
    
```

(図形のプログラム)

X3.132 Y-7.569;
A0 G50 H005 G40 G01 Y-6.8; テーパー・オフ
セットキャンセル
M99; サブプログラムエンド

<プログラム例(更埴市:垂直加工)>
(KOSYOKU.NC); シーケンスナンバー

G54; G54系
G90; 絶対座標系
G92 X0 Y0; スタート点の設定
C890; 加工条件呼びだし
T85; 加工噴流停止
G01 X0.0 Y-0.162;
X0.0 Y-5.832;
C200; 加工条件呼びだし
T84; 加工噴流開始
X2.511 Y-5.589;
.
.
.
(図形のプログラム)
.
T85; 加工噴流停止
C890; 加工条件呼びだし
X0.0 Y-5.832;
X0.0 Y0.0;
T90; ワイヤ切断
G00 Y50.0; Y50の位置まで早送り
M02; プログラムストップ

表2 加工条件C200A1切りのパラメータ

ON	OFF	IP	HP	MA	SV	V	SF	C	WT	WS
02	15	17	01	17	06	03	05	0	6	8

ON: 放電パルス時間
OFF: 休止パルス時間
IP: 主電源ピーク値
HP: 補助電源回路
MA: 休止パルス幅調整
SV: サーボ基準電圧
V: 主電源電圧
SF: サーボ速度
C: 極間コンデンサー回路
WT: ワイヤテンション
WS: ワイヤスピード

4. おわりに

本校の実習工場において、ワイヤ放電加工機(WEDM)による機械工学科・工作実習が開設され、得られた成果は以下の通りである。

- (1) NCが理解しやすく、WEDMに取りつきやすい傾向にある。
- (2) 危険が少なく段取りが容易で、その後の加工に取りかかりやすい。
- (3) 実習時間の中で理解し、習得できる。

最後に、公開講座・中学生のための「ものづくり」体験実習ならびに第3回「ものづくり」コンテストの製作者として苦楽を共にした北條智彦・坂内豊両君(機械工学科4年)にお礼申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 長坂 明彦 他: 公開講座・中学生のための「ものづくり」体験実習, 長野高専紀要, 30(1996), pp.167-174